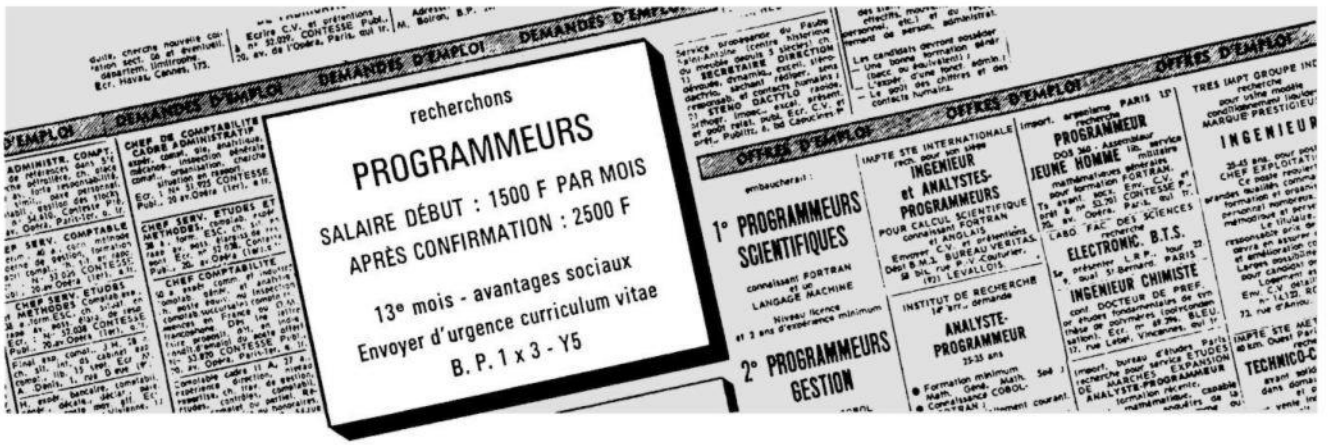
SCIENCE et VIE
ÉDITION TRIMESTRIELLE N° 82 4 F

L'ère nouvelle des techniques de calcul et de gestion

L'INFORMATIQUE

NUMÉRO HORS SÉRIE



Soyez l'homme de 1970!

En 1970, un programmeur sur ordinateur remplacera 3 employés "ancien style"

Seule IMAC, Ecole de Promotion Sociale uniquement spécialisée dans la formation de programmeurs, peut vous permettre d'affronter la révolution que vont entraîner les ordinateurs dans les fonctions administratives.

Avec le progrès scientifique, évoluer est devenu un impératif pour tous les pays.

De plus l'accroissement de la démographie, la montée des jeunes qui devront trouver un emploi, entraîneront un bouleversement considérable. Les ordinateurs qui se louent à partir de 5.000 F par mois, dirigeront dans 5 ans la gestion de toute entreprise utilisant plus de 50 personnes. En 1970, il est prévu un besoin de 325.000 opérateurs ou programmeurs-codeurs.

NE PERDEZ PLUS DE TEMPS GARANTISSEZ VOTRE PLACE ET VOTRE AVENIR SOYEZ DANS LE MÉTIER DE L'ERE ATOMIQUE ET SPATIALE.

Etre programmeur ou opérateur sur ordinateur, c'est pratiquer une profession d'avant-garde, vivante, passionnante et très bien payée.

Que faut-il pour devenir programmeur ? Beaucoup d'attention et de précision. Les diplômes universitaires ne sont pas indispensables, de même qu'un niveau élevé en mathématiques.

UN MÉTIER D'AVENIR, SÛR ET TRÈS OUVERT.

Chaque jour, de nouvelles entreprises ou administrations adoptent des ordinateurs électroniques. Le gouvernement soucieux de développer cette évolution a créé le Plan Calcul, et financé une industrie de construction d'ordinateurs purement française.

Si vous choisissez ce métier, vous n'aurez pas au départ à lutter pour vous imposer. Vous êtes attendu, c'est un métier qui restera toujours ouvert... Mais attention : **votre intérêt est de commencer vite.**

Renseignez-vous plus complètement sans tarder, c'est gratuit et sans engagement. Envoyez aujourd'hui même ce bon. Vous recevrez par retour du courrier, sous pli fermé, une documentation complète et gratuite qui vous fera mieux connaître cette carrière et les méthodes d'enseignements de l'IMAC.

COURS DU JOUR COURS DU SOIR
Initiation aux ordinateurs et à la programmation
Cours de programmation sur matériel de la 3e génération
Cours de langages évolués (GAP - COBOL - FORTRAN)
Sessions d'information et d'initiation pour cadres responsables des entreprises.
COURS PAR CORRESPONDANCE

L'IMAC suit ses élèves.
CERTIFICAT - Le certificat de fin d'études est reconnu par tous les spécialistes du "traitement des informations." L'IMAC est agréé par le Ministère de l'Education Nationale au titre de la Promotion Sociale.
PLACEMENT - Le "Club des anciens élèves de l'IMAC" est en contact avec de nombreuses entreprises qui s'adressent à lui pour le recrutement de leur personnel.
CONSEIL - Votre professeur vous conseillera chaque fois que vous solliciterez son avis. Ces services sont gratuits.
N'HESITEZ PLUS, lancez-vous dès aujourd'hui dans ce métier particulièrement bien payé qui assurera avec certitude votre avenir :
PROGRAMMEUR.

AFP BATÉS

IMAC

Je désire recevoir, sans engagement de ma part, une documentation gratuite, très complète sur le métier de programmeur et les méthodes d'enseignement de l'IMAC.

Cours du jour ☐ **Cours du soir** ☐ **Cours par correspondance** ☐

NOM .....

Prénom .....

Adresse ..... SL 2

INSTITUT DE MÉCANOGRAPHIE APPLIQUÉE École de Promotion Sociale AC - Agréée par l'Éducation Nationale - 28-30, rue des Marguettes - Paris 12e - Tél. : 344.42.88 +

ENSEIGNEMENT PROGRAMMÉ * de l'électronique

par correspondance

I.T.P. 69, rue de Chabrol, PARIS 10e

*** CERTITUDE DU MAXIMUM D'EFFICACITÉ**

Documentation détaillée dès réception du Bon à découper ci-dessus. Joindre 2 timbres pour frais d'envoi.

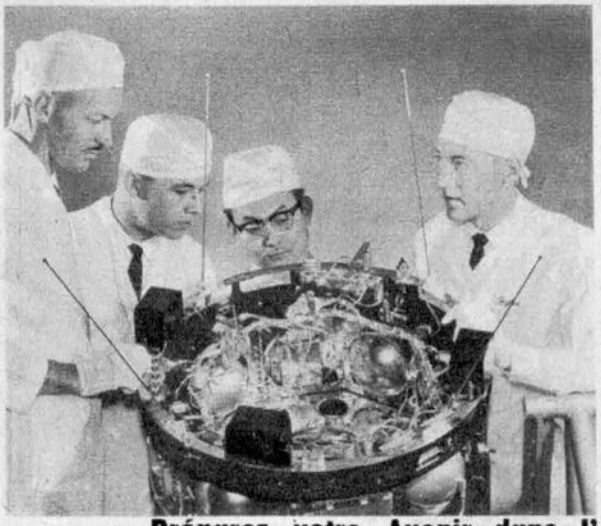
NOM .....

ADRESSE .....

I.T.P. 69, rue de Chabrol, Section A, (E.P.) **PARIS 10e - PRO. 81-14**

POUR LE BÉNÉLUX: I.T.P. Centre Administratif, 5, Bellevue, WEPION (Namur), Tél. (081)-415-48

devenez
L'ELECTRONICIEN
n° 1



Préparez votre Avenir dans l'
ELECTRONIQUE

la plus vivante des Sciences actuelles car elle est à la base de toutes les grandes réalisations techniques modernes et nécessite chaque jour de nouveaux spécialistes.

Votre valeur technique dépendra des cours que vous aurez suivis. Depuis plus de 25 ans, nous avons formé des milliers de spécialistes dans le monde entier. Faites comme eux et découvrez l'attrait passionnant de la

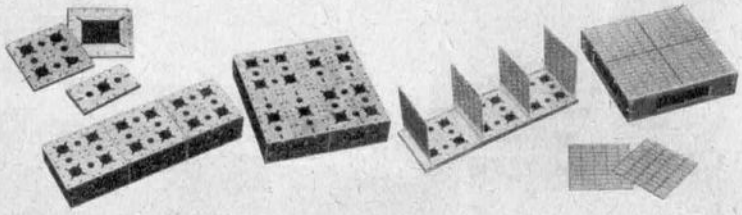
MÉTHODE PROGRESSIVE

pour préparer votre Avenir. Elle a fait ses preuves, car elle est claire, facile et pratique.

Tous nos cours sont conçus pour être étudiés **FACILEMENT** chez **SOI** :

- La **THEORIE** avec des leçons grand format très illustrées.
- La **PRATIQUE** avec un véritable laboratoire qui restera votre propriété.

En plus des composants électroniques, vous recevrez nos **PLATINES FONCTIONNELLES**, qui permettent de monter en quelques minutes le support idéal pour n'importe quelle réalisation électronique à lampes - pour les transistors les nouveaux **CIRCUITS IMPRIMÉS MCS** (module connexion service).



Seul l'**INSTITUT ELECTRORADIO** peut vous fournir ces précieux éléments spécialement conçus pour l'étude ; ils facilitent les travaux pratiques et permettent de créer de nouveaux modèles.

Quelle que soit votre formation, **SANS ENGAGEMENT** et **SANS VERSEMENT PRÉALABLE**, vous choisirez dans notre programme le cours dont vous avez besoin.

AVEC L'INSTITUT ELECTRORADIO VOUS AUREZ LA GARANTIE D'UNE LONGUE EXPÉRIENCE

Notre Service Technique est toujours à votre disposition gratuitement.

DÉCOUPEZ (OU RECOPIEZ) ET POSTEZ TOUT DE SUITE LE BON CI-DESSOUS

Veuillez m'envoyer vos 2 manuels en couleurs sur la **Méthode Progressive** pour apprendre l'électronique.

Nom

Adresse

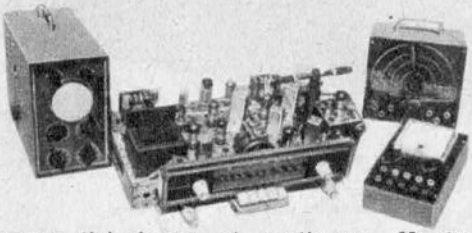
Ville

Département

(Ci-joint 2 timbres pour frais d'envoi)

V

COURS D'ÉLECTRONIQUE GÉNÉRALE

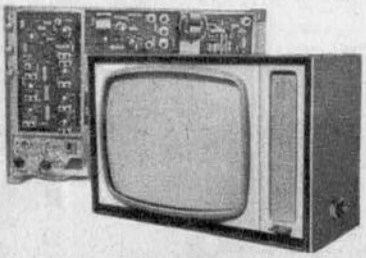


70 leçons, théoriques et pratiques. Montage de récepteurs de 5 à 11 lampes : FM et stéréo, ainsi que de générateurs HF et BF et d'un contrôleur.

COURS DE TRANSISTOR

70 leçons, théoriques et pratiques. 40 expériences. Montage d'un transistormètre et d'un récepteur à 7 transistors, 3 gammes.

COURS DE TÉLÉVISION



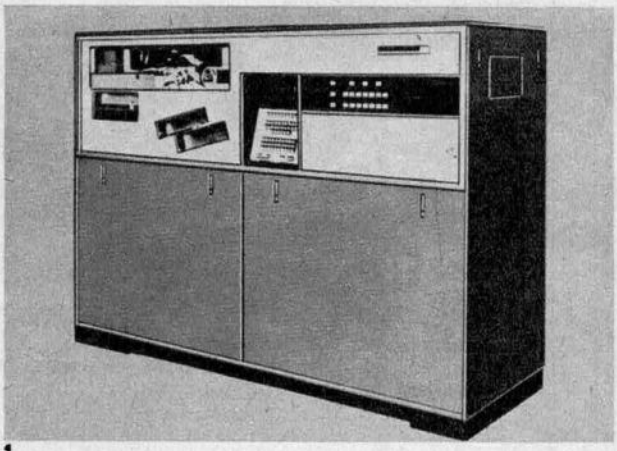
40 leçons, théoriques et pratiques. Noir et couleur. Montage d'un récepteur 2 chaînes à grand écran.

INSTITUT ELECTRORADIO

- 26, RUE BOILEAU, PARIS (XVI[e])

BONNANGE

Tous ces matériels CSM sont des ensembles autonomes et périphériques des ordinateurs.



1

2

3

4

5

1 **Lecteur optique de page FARRINGTON C S M 3030** (Lecture et transfert automatique sur bande magnétique, bande ou cartes perforées).

2 **Machine comptable superautomatique CSM ASCOTA 170** connectée cartes perforées (ou bande).

3 **Ordinateur comptable C S M** pour comptes à pistes magnétiques. Entrée et sortie cartes et bande perforées.

4 **Facturière comptable électronique C S M 800** connectée bande (ou cartes perforées).

5 **Machine à écriture automatique PROGRAMAT CSM 910** commandée par bande ou cartes perforées.

la CSM Comptabilité Simplifiée Moderne

POUR TOUS RENSEIGNEMENTS

31 RUE LA FAYETTE - PARIS 9e

TÉL. : 878.98.71

Directions régionales :

BORDEAUX • DIJON • LILLE • LYON • MARSEILLE • NANCY • NANTES • PAU • QUIMPER • REIMS • ROUEN • STRASBOURG • TOULOUSE • TOURS

C – Pub. Ateliers A.B.C. Paris

LES MATH. SANS PEINE

par l'ETN

Les mathématiques sont la clé du succès pour tous ceux qui préparent ou exercent une profession moderne.

Initiez-vous par une méthode absolument neuve et attrayante d'assimilation facile.

« Math. sans peine » Pour les « professionnels » désireux d'acquérir la base mathématique indispensable et pour tous les **« réfractaires »** aux math. **(Notice 2306).**

Math. scolaires Cours accélérés de **4e, 3e et 2e.** Révision critique des programmes. Pour les « rattrapages », examens de passage, initiation au programme de la classe supérieure. Corrections individuelles nombreuses et rapides **(Notice 2406).**

...et les MATH. NOUVELLES

« Mathélec » Une méthode « utilitaire » rendant faciles les mathématiques appliquées. Due à M. F. Klinger, praticien de l'Electronique et professeur de math., elle est destinée aux spécialistes de l'Électronique et de l'Electricité désireux de compléter leur bagage. **(Notice 2006).**

« Les Ensembles » La Mathématique nouvelle selon **« Nicolas-Bourbaki ».** Un cours d'initiation très accessible (niveau « seconde »), complet, copieux, suivi surtout par des techniciens et de nombreux enseignants **(Notice 2106).**

Statistique Cours d'initiation dû à un diplômé de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris. Pour les Elèves des Grandes Ecoles, les Etudiants, les spécialistes **(Notice 2206).**

Un ancien élève nous écrit :

« Je peux aujourd'hui poursuivre mes études dans l'Electricité et l'Electronique alors que j'étais faible en mathématiques...

Michel P..., Epinal

Dépense moyenne : 1 F par jour

Essai gratuit le premier mois
Résultat final garanti

ÉCOLE DES TECHNIQUES NOUVELLES
20, rue de l'Espérance - PARIS 13e
Ecole par correspondance fondée en 1948.

BON 2.6 **Dès AUJOURD'HUI, envoyez-nous ce coupon ou recopiez-le**

Veuillez m'adresser votre notice N°

NOM & PRÉNOM .....

ADRESSE COMPLÈTE .....

.....

Soyez un de ces hommes nouveaux qui savent parler aux ordinateurs.

Pour "parler" à un calculateur électronique, il faut un langage spécial. Les programmeurs le connaissent. Voilà pourquoi le programmeur est un spécialiste hautement qualifié : il est le seul à pouvoir préparer un programme pour une machine à traiter l'information.

Voici un cours de programmeur véritablement d'avant-garde. Les COURS CIDEC, spécialisés dans l'enseignement par correspondance, l'ont créé pour vous. Ce cours s'appuie sur la nouvelle méthode pédagogique hollandaise S.E.R.A., et il a été réalisé sous le haut patronage de la Fondation du Centre d'Etudes qui est en Hollande, sur le plan de l'Electronique, ce que sont aux Etats-Unis les plus grands centres universitaires spécialisés.

Devenez, même avec un niveau moyen en mathématiques, le programmeur dont toutes les entreprises modernes ont besoin : le cours CIDEC de Programmeur prépare à la pratique de tous les calculateurs industriels.

Pour obtenir gratuitement, sans aucun engagement de votre part, notre documentation "à quoi tient la réussite" et des informations détaillées sur notre cours de Programmeur, remplissez le bon ci-dessous et adressez-le à :

CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES PAR CORRESPONDANCE
PARIS - LIEGE - GENEVE - MONTE CARLO

COURS CIDEC
FONDES EN 1909

COURS CIDEC
5, Route de Versailles
78-LA CELLE ST-CLOUD
Tél. 969.20.62

NOM .....

PRÉNOM ..... AGE .....

ADRESSE .....

.....

PROFESSION ACTUELLE .....

.....

DÉSIRE VOTRE DOCUMENTATION PROGRAMMEUR 406 08

Les COURS CIDEC sont membres du Conseil National de l'Enseignement par Correspondance (CNEC) qui en garantit le sérieux pédagogique, administratif et publicitaire.

Situation assurée

dans l'une de ces

QUELLE QUE SOIT VOTRE INSTRUCTION
préparez un

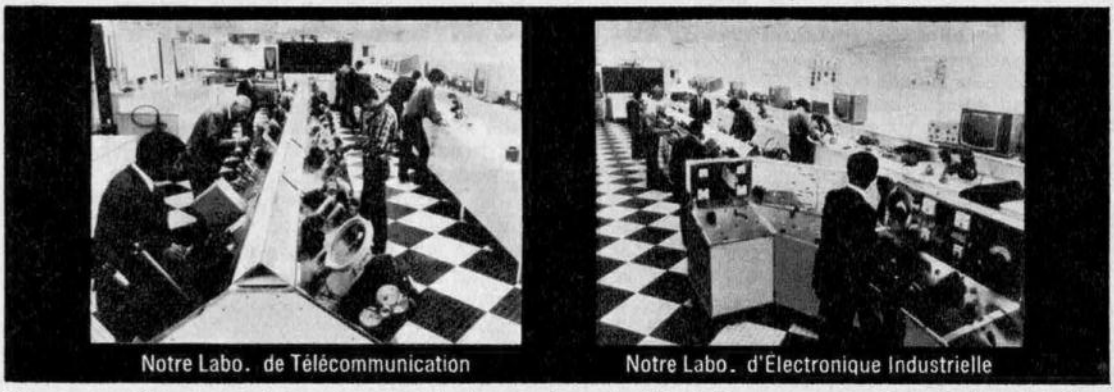
DIPLÔME D'ÉTAT
C.A.P. - B.E.I. - B.P. - B.T.
INGÉNIEUR

avec l'aide du
PLUS IMPORTANT CENTRE EUROPÉEN DE FORMATION TECHNIQUE
disposant d'une méthode révolutionnaire brevetée et des Laboratoires ultra-modernes pour son enseignement renommé.

branches techniques d'avenir

lucratives et sans chômage :
ÉLECTRONIQUE - ÉLECTRICITÉ - RADIO-TÉLÉVISION - CHIMIE - MÉCANIQUE
AUTOMATION - AUTOMOBILE - AVIATION
ÉNERGIE NUCLÉAIRE - FROID
BÉTON ARMÉ - TRAVAUX PUBLICS
CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES - ETC.
ÉTUDE COMPLÈTE de TÉLÉVISION COULEUR

par correspondance et cours pratiques



Notre Labo. de Télécommunication — Notre Labo. d'Electronique Industrielle

Stages pratiques gratuits dans les Laboratoires de l'Etablissement — Possibilités d'allocations et de subventions par certains organismes familiaux ou professionnels - Toutes références d'Entreprises Nationales et Privées.
Pour les cours pratiques, Etablissement légalement ouvert par décision de Monsieur le Ministre de l'Education Nationale, Réf. nº ET5 4491.

DEMANDEZ LA BROCHURE GRATUITE A. 11à :

ETMS
ECOLE TECHNIQUE
MOYENNE ET SUPÉRIEURE DE PARIS

36, rue Etienne-Marcel - Paris 2e
Pour nos élèves belges : BRUXELLES : 22, av. Huart-Hamoir - CHARLEROI : 64, bd Joseph II

800 factures, 50 paies et 4000 écritures comptables chaque mois ?

Il existe un équipement IBM à votre mesure.

Etes-vous sûr que votre entreprise est "trop petite" pour être justiciable d'un équipement IBM ? Le traitement mécanographique de l'information est pour vous un instrument de Direction indispensable. Il vous permet de mieux gérer votre entreprise en centralisant le maximum d'informations commerciales, administratives, comptables ou techniques.

Paie, tenue de stocks, facturation, comptabilité, statistiques, autant de vos travaux qui seront mieux assurés et dans des délais plus courts avec un matériel simple et à la mesure de votre entreprise.

Pour le prix de revient d'un ou deux employés, vous pouvez disposer d'un équipement à cartes perforées ou d'une machine comptable permettant le traitement intégré de plusieurs applications.

Si vous désirez des renseignements complémentaires, nous avons édité à votre intention une brochure qui vous sera envoyée, sans engagement, sur simple demande.

Découpez et renvoyez le bon ci-dessous à l'adresse suivante :

IBM

IBM Service 004 - 168, rue de Rivoli - PARIS 1er - Tél. 508.10.50

BON A DECOUPER

M. (nom) .....

Entreprise .....

Adresse .....

désire recevoir, gratuitement et sans engagement de sa part, la brochure "Un équipement à votre mesure"

Pour le non-initié, une salle d'ordinateurs présente toujours un caractère un peu mystérieux. La photographie de couverture représente un système IBM 360/40, avec, au premier plan, une batterie de mémoires à disques et, au fond, une série de dérouleurs de bandes.

Photo Miltos Toscas (objectif Fish-eye obligeamment prêté par les Ets Edixa-France)

SOMMAIRE DU N° HORS-SÉRIE

L'INFORMATIQUE

ÉDITORIAL 8
PRÉSENTATION DE L'ORDINATEUR 12
ANALYSE ET PROGRAMMATION 26
SYSTÈMES D'ENTRÉE-SORTIE 34
L'ORDINATEUR EN TEMPS RÉEL 46
LE TEMPS PARTAGÉ 56
APPLICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES 70
GESTION DES ENTREPRISES 88
ORDINATEUR ET RECHERCHE OPÉRATIONNELLE 98
LA DOCUMENTATION AUTOMATIQUE 108
ENSEIGNEMENT ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION 120
L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE 132
L'AVENIR 146

Tarif des abonnements : UN AN. France et États d'expr. française 12 parutions : 30 F (étranger : 35 F); 12 parut. plus 4 numéros hors série : 43 F (étranger : 50 F); 12 parut. plus 4 numéros hors série envoi recom. : 60 F (étranger : 81 F). Règlement des abonnements : Science et Vie, 5, rue de la Baume, Paris. C.C.P. PARIS 91-07 ou chèque bancaire. Pour l'Étranger par mandat international ou chèque payable à Paris. Changements d'adresse : poster la dernière bande et 0,60 F en timbres-poste. — Belgique, Grand Duché de Luxembourg et Pays-Bas (1 an) : service ordinaire FB 250, service combiné, FB 400. Règlement à Edimonde, 10, boulevard Sauvenière, C.C.P. 283-76, P.I.M. service Liège. — Maroc : règlement à Sochepress, 1, place de Bandoeng, Casablanca, C.C.P. Rabat 199.75.

Directeur général : Jacques Dupuy. Rédacteur en chef : Jean Bodet. Direction, Administration, Rédaction : 5, rue de la Baume, Paris-8e. Tél. : Élysée 16-65. Chèque Postal : 91-07 PARIS. Adresse télégr. : SIENVIE PARIS. Publicité : Excelsior Publicité, 2, rue de la Baume, Paris 8e (Ély 87-46). Correspondants à l'étranger : Washington : « Science Service », 1 719 N Street N.W. Washington 6 D.C. New York : Arsène Okun, 64-33 99th Street, Forest Hills 74 N.Y. Londres : Louis Bloncourt, 38, Arlington Road, Regent's Park, Londres N.W.I.

ÉDITORIAL

Qu'est-ce que l'Informatique ? Ce mot tout nouveau est cependant déjà entré au dictionnaire de l'Académie. Pris au sens large, il désigne l'ensemble des techniques pour la collecte, la mise en ordre, la conservation, la transmission et l'interprétation de cette matière première impondérable et universelle qu'est l'«information ». Plus simplement, nous dirons que c'est la technique de réalisation et d'emploi des calculateurs électroniques.

Restreignant encore le champ de notre définition, nous préciserons dès l'abord qu'il ne sera question dans cet ouvrage que des calculateurs dits numériques, des « ordinateurs », qui constituent l'énorme majorité des machines à traiter l'information, laissant de côté les calculateurs dits « analogiques ». Ceux-ci sont des outils d'ingénieurs, parfois très élaborés, pour l'étude de phénomènes où interviennent des grandeurs physiques à variation continue. Mais ils sont si étroitement spécialisés qu'ils ne se prêtent pratiquement qu'à un seul genre d'étude, ou même qu'à une seule étude particulière. Du point de vue économique, ils ne représentent qu'une part infime du marché.

Par contraste, le marché des calculateurs numériques, déjà très vaste, prend d'année en année, de jour en jour peut-on dire, une extension proprement explosive. Ces machines sont à la base de ce que l'on n'hésite guère aujourd'hui à appeler la « révolution informatique », que l'on annonce plus profonde même que la « révolution industrielle » du XIX^{e} siècle, et où certains voient même une acquisition si marquante dans l'histoire de l'humanité qu'on ne pourrait lui comparer que l'invention même de l'écriture. L'instrument de ce bouleversement qui gagne toutes nos activités techniques, économiques, sociales et même mentales est le calculateur numérique, auquel convient mieux le nom d'ordinateur. Car s'il met en œuvre les principes fondamentaux du calcul arithmétique, le « calculateur » assume aussi des fonctions logiques qui ne sont pas moins importantes et qui font d'ailleurs que l'on voit en lui un émule du cerveau humain, capable d'activités apparentées à l'intelligence.

Un des attributs des calculateurs numériques est leur universalité. Parler de machines à traduire, à calculer les ouvrages d'art, à établir factures et bulletins de paye, etc., c'est laisser croire qu'il en existe un grand nombre de types différents. Or, de par sa construction même, le propre d'un ordinateur est de ne pouvoir accomplir que certaines opérations arithmétiques et logiques très élémentaires. C'est la combinaison ordonnée d'une multitude de telles opérations successives qui lui permet de traiter tel ou tel problème.

L'attribut majeur de l'ordinateur est cependant sa rapidité d'action, qui a véritablement révolutionné le traitement de l'information. Cette rapidité, il la doit à l'électronique, qui a permis

d'éliminer totalement dans son fonctionnement interne les éléments mécaniques doués d'inertie. De ce fait, les opérations y sont effectuées à une vitesse prodigieuse. Avec des semi-conducteurs, sous forme de transistors et de diodes, une multiplication ne prenait guère qu'une milliseconde il y a peu de temps encore. Avec les circuits intégrés des micromodules, on atteint la microseconde (millionième de seconde). La durée se réduit aux limites de l'imaginable, car on en vient à chiffrer les commutations élémentaires en nanosecondes. Conçoit-on aisément un milliardième de seconde ?

L'électronique joue aussi un rôle capital dans les organes de mémorisation des ordinateurs. S'il peut prendre en charge n'importe quelles informations quantifiées, l'ordinateur ne peut en traiter n'importe quel volume, car il lui faut les stocker, en même temps que le programme de traitement, dans sa mémoire centrale dont la capacité n'est pas illimitée. Les mémoires à tores de ferrite, qui vont peut-être être détrônées par les mémoires à films minces, se sont imposées pour ces organes où peuvent s'inscrire des dizaines ou des centaines de milliers de caractères, suivant la puissance de la machine, et d'où ils peuvent être extraits individuellement en un dixième de microseconde. Bien entendu, cette mémoire centrale ne saurait loger toute la masse de données à traiter au cours d'un problème qui peut, dans le cas de la gestion, par exemple, en comporter un nombre considérable. Il faut donc prévoir des mémoires auxiliaires, tant internes qu'externes. La rapidité de consultation de ces mémoires varie en général en sens inverse de leur capacité et le temps d'accès à une information particulière est un des critères fondamentaux de l'efficacité d'une installation.

A sa souplesse d'adaptation à des problèmes de traitement variés, à sa rapidité étourdissante d'exécution des opérations arithmétiques et logiques, à sa capacité de mémorisation, l'ordinateur ajoute une qualité précieuse, la « fiabilité ». L'erreur est humaine, mais la machine n'en commet pas. Elle n'est jamais distraite et ne connaît pas la fatigue. Inlassables, ses circuits reprennent sans défaillance les séquences d'actions que lui impose le programme, délivrant l'esprit humain de tâches dont la répétition monotone deviendrait vite odieuse.

Il est à peine besoin de mentionner les services irremplaçables des calculateurs numériques dans les domaines scientifique et technique. C'est un lieu commun de dire que sans eux il ne serait pas question aujourd'hui de mettre des satellites sur orbite et encore moins d'envoyer un équipage sur la Lune. Sans l'aide qu'apportent les machines pour le dépouillement des clichés pris dans les chambres à bulles, les synchrotons seraient à peu près sans objet. Leur puissance de calcul permet seule, en mathématiques, en physique, en chimie, en biologie, d'attaquer des problèmes d'une ➡

complexité telle qu'ils semblaient, il y a quelques années, hors de la portée des savants.

C'est cependant dans le domaine en apparence plus terre-à-terre de la conduite des affaires que l'impact de l'ordinateur se révèle le plus troublant. Il est en train de changer radicalement les méthodes traditionnelles de la production commerciale et de l'administration des entreprises publiques et privées. Sans doute représente-t-il la forme la plus évoluée de l'équipement mécanographique et comptable, mais ses possibilités de stockage en mémoire, de vitesse de lecture et d'opérations logiques diversifiées conduisent tout naturellement à l'automatisation rationnelle de certains actes de gestion. Il faut évidemment se garder de céder à la psychose de l'ordinateur et de voir en lui un remède miraculeux pour les entreprises en difficulté. Mal employé, comme il arrive trop souvent, c'est plutôt un facteur d'alourdissement. Isoler un des éléments de de gestion pour le traiter sur ordinateur sans coordination avec les autres se justifie mal. Un système informatique dans l'entreprise n'est vraiment rentable que si la gestion est « intégrée », c'est-à-dire si les informations de base y sont exploitées dans toutes leurs implications, à tous les niveaux d'un ensemble cohérent, jusqu'à celui où se prennent les décisions de politique industrielle et commerciale. Nous avons assez dit que l'ordinateur est un exécutant discipliné, mais inintelligent. Il lui faut des informations claires, des ordres sans ambiguïté. Il en résulte que, préalablement à son introduction dans l'entreprise, une organisation rigoureuse est indispensable, conduisant la plupart du temps à une réorganisation avec obligation de remettre en question toutes les routines industrielles, commerciales et comptables. Débordant le domaine financier et comptable où les calculateurs électroniques ont trouvé leurs premières applications, l'ordinateur aborde maintenant couramment les problèmes de distribution, les études de marché et la recherche opérationnelle.

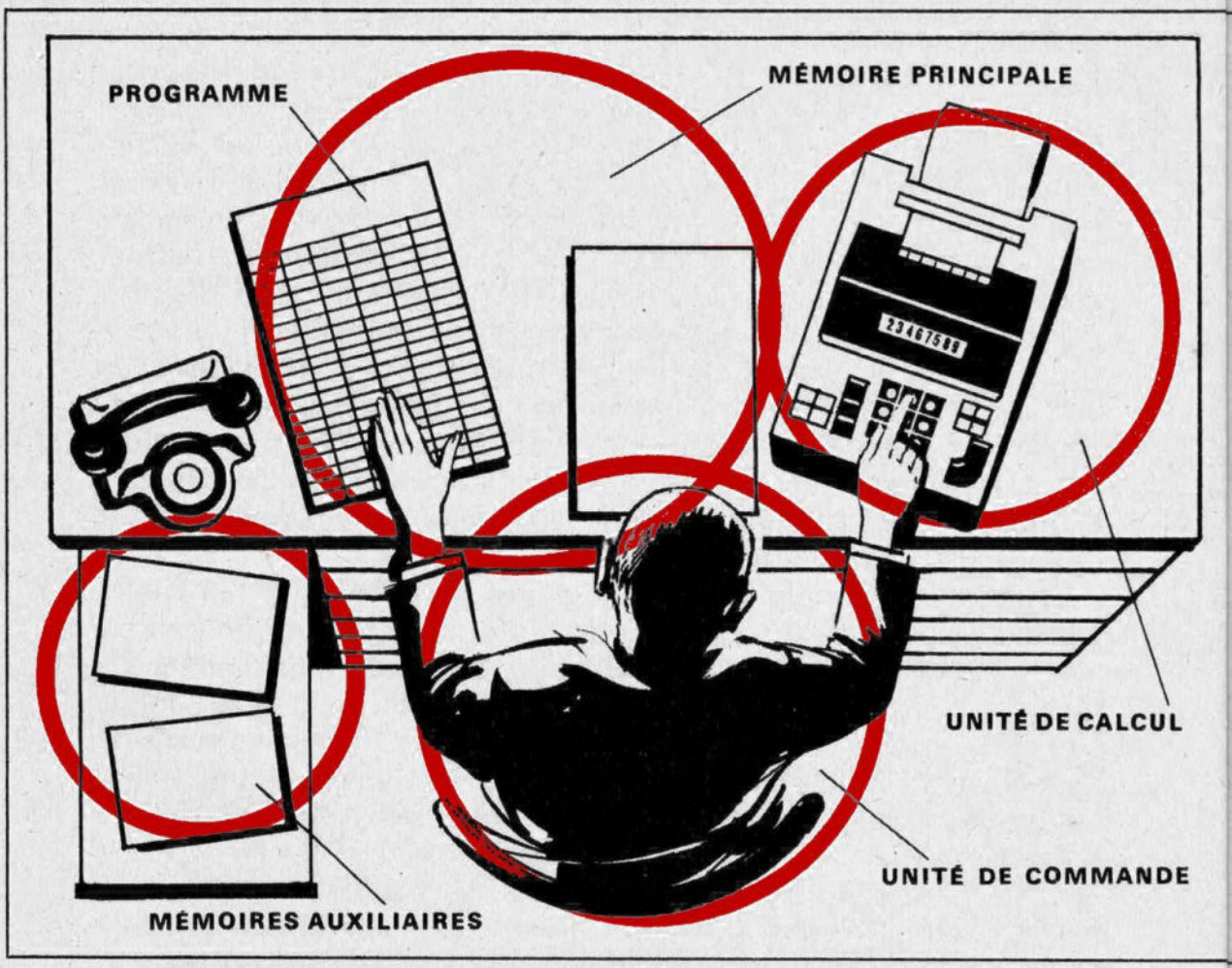
L'informatique, par ses applications industrielles et militaires, à la recherche scientifique et technique, à la direction et à la gestion des entreprises publiques et privées, constitue un secteur vital pour une grande nation. Dans ce domaine, il faut bien constater que les États-Unis sont les maîtres (plus de 40 000 ordinateurs en service aux États-Unis contre un peu plus de 2 000 en France).

C'est pour remédier à cette situation qu'un conseil interministériel a créé en juillet 1966 un poste de Délégué à l'Informatique, qui doit apparaître à la fois comme l'interlocuteur unique de l'industrie et comme le coordinateur des actions des différentes administrations et organismes parapublics intéressés par l'informatique, ceci afin de favoriser la création d'une industrie nationale, mais non nationalisée, des calculateurs. Ce qu'on est convenu d'appeler le « Plan Calcul » se concrétisait en décembre de la même année

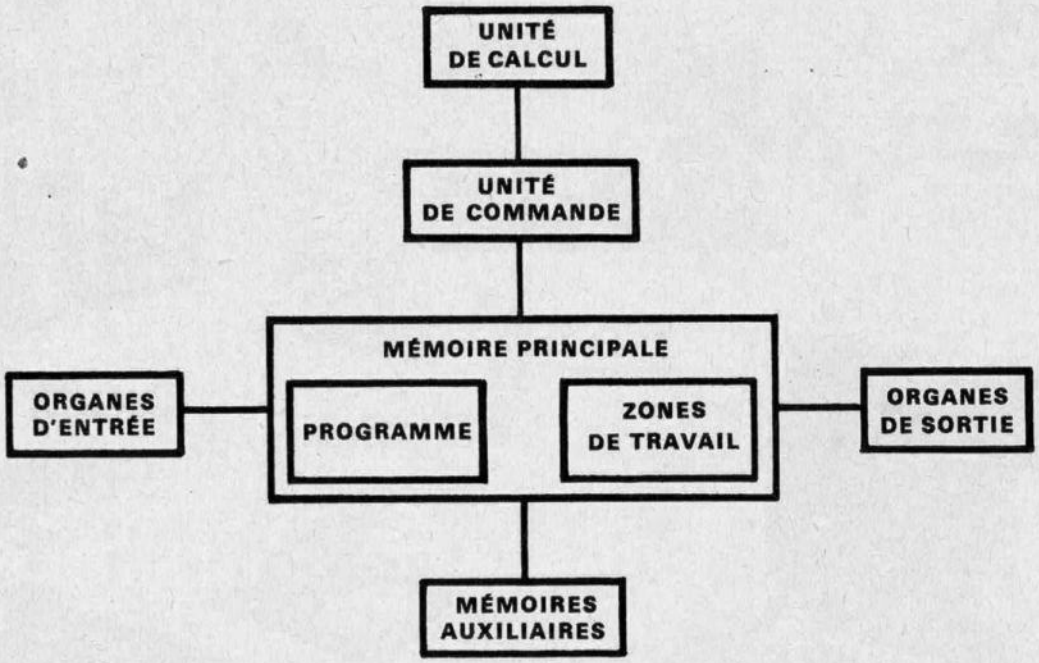
par le regroupement des activités informatiques de plusieurs groupes français au sein d'une société nouvelle, la Compagnie Internationale pour l'Informatique (C.I.I.) chargée de la conception, de la fabrication et de la commercialisation de deux gammes d'ordinateurs, avec une aide financière de l'État sous forme de marchés d'études et de recherches. Parallèlement, un autre regroupement donnait naissance à la SPERAC (Systèmes et PERiphériques Associés aux Calculateurs) chargée de centraliser l'industrie française des éléments annexes susceptibles d'être connectés à un ordinateur et commandés par lui pour l'introduction des informations et la sortie des résultats. Enfin était créé un organisme à vocation scientifique, l'Institut de Recherches d'Informatique et d'Automatique (I.R.I.A.), pour la recherche fondamentale et appliquée et la formation de personnel spécialisé.

Ainsi se trouve mobilisé l'essentiel des ressources de l'industrie nationale pour ce qu'en jargon d'informaticien on nomme le « hardware », traduisez « quincaillerie » ou plutôt « matériel ». La tâche sera ardue, car le retard est grand et le progrès technique n'accorde aucun répit. L'autre volet du problème concerne le « software », terme résultant d'un calembour opposant **soft** (mou) à **hard** (dur), et qui désigne la manière de se servir du matériel, les procédures, les programmes, en somme la « matière grise ». D'importantes équipes de spécialistes du traitement de l'information vont être indispensables à tous les niveaux, rompus aux techniques modernes de la multiprogrammation, du télétraitement, du travail en temps partagé.

Analystes, programmeurs, opérateurs, chacune de ces catégories se subdivise en un grand nombre de spécialités comportant des responsabilités diverses. Ces carrières sont en pleine expansion et l'offre dans ces domaines surpassera longtemps encore la demande, situation qui n'est pas d'ailleurs particulière à la France. Dans le domaine scientifique, l'action de nos universités est importante, mais elles se sont montrées longtemps réticentes pour l'enseignement des aspects pratiques de l'informatique. Maintenant, trois centres universitaires principaux fonctionnent à Paris, Toulouse et Grenoble, et plusieurs grandes écoles d'ingénieurs et de cadres commerciaux possèdent des sections informatique. Ainsi en est-il aussi de plusieurs lycées techniques. Des écoles privées, bien que de valeur inégale, peuvent apporter un appoint non négligeable sur le plan opérationnel. En fait, constructeurs de matériel et utilisateurs de systèmes forment la plupart du temps leurs techniciens directement, « sur le tas » pour ainsi dire. Dans l'ensemble, c'est sur l'informatique de gestion, actuellement sous-développée, que devra porter le plus gros effort, car on ne saurait trop souligner qu'il s'agit d'un secteur vital où les ordinateurs sont appelés à se multiplier rapidement.



Présentation de l'ordinateur



Un employé chargé d'effectuer des opérations comptables dispose, sous une forme qui nous est familière, de tous les éléments constituant un calculateur électronique : unité de commande (son cerveau), unité de calcul (la machine de bureau), mémoire principale (le programme établi sur une feuille de calcul et le bloc-note pour les résultats intermédiaires), mémoires auxiliaires (tarifs, barèmes-standard, etc.). Pour la machine, on retrouve exactement les mêmes éléments représentés en disposition schématique fonctionnelle, figure ci-dessus.

L'outil principal de l'informatique est l'ordinateur. Très schématiquement, un ordinateur est une machine capable d'accepter des informations sous forme codée, de leur appliquer certaines transformations, définies par un programme, et de produire des résultats sous forme codée.

Cette description peut toutefois s'appliquer à n'importe quel organe ou organisme ayant une activité de traitement de l'information. Il importe donc de préciser la spécificité de l'ordinateur dans ce domaine, en particulier vis-à-vis du traitement manuel.

Supposons un calculateur — humain — professionnel. Il dispose de feuilles de calcul où est décrite la séquence des opérations conduisant au résultat désiré ; il s'aidera pour ces opérations d'une machine à calculer de bureau susceptible de réaliser des opérations élémentaires (par exemple : les quatre opérations arithmétiques). Ayant reçu, par ailleurs, les données du calcul, il va effectuer pour ces données chacune des opérations prescrites sur la feuille de calcul, et dans l'ordre où elles apparaissent. Il pourra conserver sur une feuille de travail des résultats intermédiaires qu'il réutilisera ultérieurement.

Il pourra également avoir recours à des tables, des barèmes ou des fichiers permanents. Enfin, le ou les résultats obtenus seront communiqués à la personne pour le compte de qui le calcul a été effectué ; éventuellement, ces résultats pourront être classés en vue de leur utilisation ultérieure.

Outre la fonction de calcul, représentée ici par la machine de bureau, ce schéma met en évidence une fonction de conservation de l'information qui sous-tend l'ensemble des opérations. Cette mémorisation peut prendre plusieurs formes :

— conservation des procédures de calcul pour les problèmes courants (feuilles de calcul) ;

— écriture des données du calcul pour référence permanente ;

— prise en note de résultats intermédiaires devant servir ultérieurement de données ;

— conservation de barèmes ou fichiers, éventuellement mis à jour à la fin du calcul.

Remarquons aussi que la procédure à suivre pour un calcul déterminé est définie

DOC. IBM

Toutes les fonctions d'un grand ordinateur se trouvent rassemblées ici : unité centrale et tableau de commande, organes d'entrée (lecteurs de cartes), de sortie (imprimante), mémoires auxiliaires externes à bandes magnétiques ou à disques magnétiques.

par une suite d'opérations que le calculateur devra exécuter dans un ordre rigoureux.

A la limite, et sous réserve que la feuille de calcul soit parfaitement bien établie et que la procédure ne fasse aucun appel au jugement, l'activité du calculateur pourrait devenir complètement mécanique.

La structure générale d'un ordinateur est très voisine de ce schéma. Un organe de mémoire contient à la fois la définition détaillée des étapes de calcul et les données et zones de travail nécessaires. Ces informations sont placées dans la mémoire sous une forme codée. Un organe de commande examine une à une les étapes du calcul, appelées aussi instructions de programme, et localise en mémoire les facteurs de chaque opération. Chaque instruction est exécutée par des circuits appropriés dont l'ensemble constitue l'unité de calcul.

En bref, la mémoire de l'ordinateur est l'analogue de la feuille de papier ou du fichier, le programme est l'analogue de la feuille de calcul, l'unité de commande, l'analogue de l'employé, et l'unité de calcul, l'analogue de la machine à calculer.

Nous verrons par la suite que la représentation des informations dans la mémoire est très particulière. Il faut donc ajouter à cet ensemble des organes d'entrée et de sortie dont le rôle est de transférer des informations depuis le milieu extérieur vers la mémoire de l'ordinateur et vice versa.

Entre le traitement de l'information manuel et par ordinateur, les différences principales sont d'ordre à la fois qualitatif et quantitatif. Contrairement à l'homme, l'ordinateur ne possède à priori ni bon sens, ni jugement, ni motivation. Il ne possède, par ailleurs, dans sa mémoire, que les informations qui y ont été introduites explicitement. Chaque étape des opérations à effectuer, chaque cas particulier possible, quelque rare qu'il soit, chaque anomalie éventuelle, doivent avoir été recensés et le traitement correspondant défini avant que le calcul ne commence.

Autrement dit, là où un exécutant humain peut se contenter de consignes générales et incomplètes, l'emploi d'un ordinateur exige une analyse exhaustive préalable.

Contrairement à une expression très répandue, un ordinateur ne résoud pas des problèmes au sens général du mot ; il ne

peut qu'effectuer des calculs qui lui sont prescrits par le programme. La solution effective du problème posé est en fait l'écriture du programme, activité proprement humaine.

Entre les performances d'un ordinateur et celles d'un être humain, il existe, par contre, sur le plan du calcul, une vertigineuse différence d'échelle. Un ordinateur moyen peut effectuer des dizaines ou des centaines de milliers d'additions ou de multiplications à la seconde. Il peut accéder à un dossier parmi des millions en moins d'une demi-seconde. Sa probabilité de commettre une erreur pour 1 000 opérations est extrêmement faible.

Une fois donc terminée l'analyse complète du travail à effectuer, une fois le programme de calcul rédigé, l'ordinateur pourra répéter le traitement à grande vitesse, et sans erreur, un très grand nombre de fois.

Par ailleurs, la vitesse et la capacité de l'ordinateur lui permettent d'exécuter dans des temps raisonnables des traitements extrêmement complexes que l'on n'aurait pas envisagé d'entreprendre autrement, soit que le volume des calculs soit rédhibitoire (une minute d'ordinateur peut représenter une centaine d'années de travail manuel), soit que leur complexité soit telle que la probabilité d'une erreur humaine devienne voisine de l'unité.

La représentation des informations

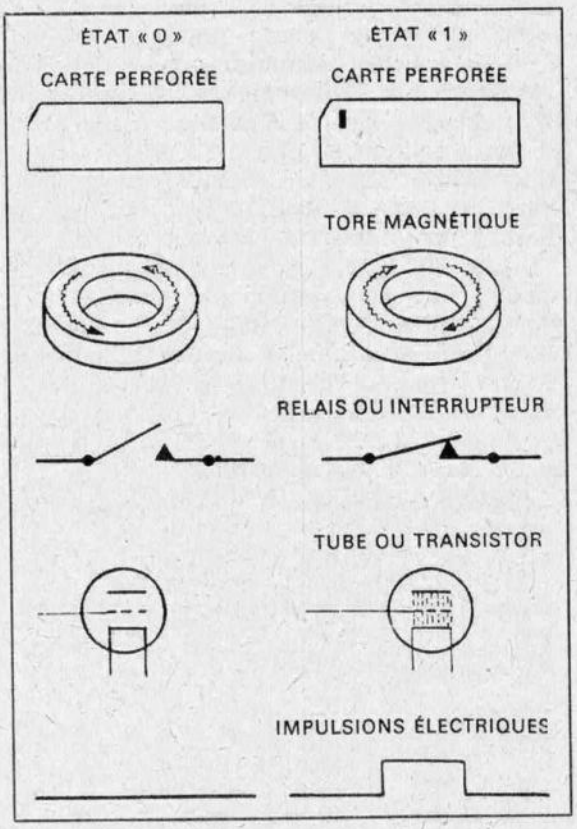
La présentation des données à un ordinateur est semblable, en bien des points, à la communication par lettre d'une personne à une autre. Le message à transmettre doit être ramené à une série de symboles (lettres, chiffres, ponctuation). Ceux-ci sont enregistrés sur papier dans un ordre déterminé et transmis à l'autre personne qui les lit et les interprète.

La signification des symboles est affaire de convention. Un symbole peut avoir un sens pour certaine personne, un sens différent pour une autre, et n'avoir aucun sens pour une troisième.

De même, toute communication avec un ordinateur exige que les données soient ramenées à une série de symboles différents de ceux utilisés communément, car il faut que l'information présentée soit conforme à la conception et au fonctionnement de la machine. Le choix des symboles et leur signification sont arbitraires, pourvu qu'ils puissent servir de langage de communication entre l'homme et la machine.

L'information destinée à être manipulée par les ordinateurs peut être enregistrée sur différents supports : cartes perforées, bandes de papier perforées, bandes magnétiques, etc.

A l'intérieur de l'ordinateur, la représentation des données est assurée par un grand nombre de composants électroniques : tubes à vide, transistors, tores magnétiques, conducteurs, etc. La circulation des informations à l'intérieur de ces dispositifs se fait alors sous la forme de signaux électriques. La présence ou l'absence de signaux sur des



Les systèmes électromécaniques ou électroniques des calculateurs ne savent reconnaître que deux états seulement : présence ou absence d'une perforation sur une carte de bristol ou une bande de papier, sens de l'aimantation d'un matériau ferromagnétique, ouverture ou fermeture d'un relais, état conducteur ou non-conducteur d'un tube à vide ou d'un semi-conducteur, présence ou absence, enfin, d'une impulsion électrique.

circuits déterminés constitue la méthode de représentation des données, au même titre que la présence ou l'absence de perforations dans une carte.

De même qu'une ampoule électrique ordinaire ne peut être que dans deux états, soit allumée, soit éteinte, les composants de l'ordinateur ne pourront indiquer que deux états du système : présence ou absence d'une impulsion électrique.

La présence ou l'absence de lumière indique que l'ampoule est en circuit ou hors circuit. A l'intérieur de l'ordinateur, de même, les tubes à vide, diodes ou transistors seront ou non conducteurs, des matériaux ferromagnétiques seront magnétisés dans un sens ou en sens inverse, des tensions spécifiques seront présentes ou non.

A toute valeur numérique devra donc correspondre une représentation acceptable par les circuits de l'ordinateur, sous forme d'états de « tout ou rien ». La transformation d'un nombre décimal classique en sa valeur dans le système arithmétique binaire, de base 2, nous apporte la solution.

Dans le système binaire, tout nombre décimal peut être traduit par une série de deux chiffres, 1 et 0. Nous pouvons montrer sur quelques exemples comment s'effectue la conversion. Elle utilise la décomposition d'un nombre suivant les puissances de 2 : 2^1 étant 2 ; 2^2 étant 4 ; 2^3 étant 8, etc., et 2^0 étant 1 par convention.

Dans ces conditions, $0 = 0 \times 2^0$ s'écrira 0 ;

$1 = 1 \times 2^0$ s'écrira 1 ;

$2 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ s'écrira 10 ;

$3 = 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$ s'écrira 11 ;

$5 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$ s'écrira 101 ;

$7 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$ s'écrira 111;

$28 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ s'écrira 11 100;

$57 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$ s'écrira 111001.

Si, par convention, nous posons que l'état 1 représente un circuit conducteur de courant et l'état 0 le même circuit non conducteur de courant, nous disposons, avec l'écriture binaire, d'une représentation parfaitement acceptable pour les circuits de l'ordinateur.

Toutefois, le code binaire a l'inconvénient d'entraîner l'écriture de très longues suites de chiffres 0 et 1 pour les nombres importants. On a donc très généralement recours aujourd'hui à un système mixte, le système décimal codé binaire (DCB), dans lequel chaque chiffre décimal d'un nombre quelconque est séparément représenté par son équivalent binaire. Dans l'exemple donné plus haut, 57 s'écrirait 101 111.

En fait, le 8 et le 9 de la numération décimale s'écrivent en binaire 1000 et 1001, et quatre positions binaires sont donc nécessaires dans le système DCB ; 57 s'écrira ainsi 0101 0111.

Cependant, les ordinateurs doivent être capables de représenter et de traiter bien d'autres informations que des valeurs numériques.

Par exemple, un code destiné à représenter les dix chiffres décimaux et les vingt-six lettres de l'alphabet devrait comporter six positions binaires, permettant 64 combinaisons de 0 et de 1 (cinq positions binaires ne permettent que 32 combinaisons, ce qui est insuffisant).

Actuellement, on utilise de plus en plus des codes à sept ou huit positions binaires. Ainsi peut-on représenter chiffres, lettres majuscules et minuscules, signes de ponctuation, symboles mathématiques, etc. Le choix de la combinaison de 0 et de 1 qui représentera une information donnée est en principe arbitraire. Il est toutefois nécessaire que les codes soient normalisés pour les différents organes d'un même ordinateur, pour les différentes machines d'un même constructeur ou pour l'ensemble des constructeurs. Le tableau ci-contre donne, à titre d'exemple, le code normalisé par l'AFNOR.

De tels codes permettent aux ordinateurs de traiter tout symbole imaginable, numérique, alphabétique, etc., jusqu'aux indications typographiques et aux signaux de commande de la machine.

La fonction mémoire

L'organe fondamental d'un ordinateur, où s'effectuent les calculs, porte le nom d'unité centrale. Elle comporte elle-même deux éléments principaux, l'unité de traitement et la mémoire centrale (ou mémoire principale).

Avant de pouvoir être traitées par l'ordinateur, toutes les données doivent effectivement être inscrites en mémoire. La capacité de la mémoire détermine la quantité d'informations que le système peut contenir à un moment quelconque. La mémoire princi-

b_7 b_6 b_5 → / ÉLÉMENTS				0 0 0	0 0 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
b_4 ↓	b_3 ↓	b_2 ↓	b_1 ↓	Colonne → / Ligne ↓	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	à	P	`	p
0	0	0	1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	ETX	DC3	£	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	10	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	11	VT	ESC	+	;	K	o	k	é
1	1	0	0	12	FF	FS	,	<	L	ç	l	ù
1	1	0	1	13	CR	GS	−	=	M	§	m	è
1	1	1	0	14	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1	1	1	1	15	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Le code à 7 éléments préconisé pour la transmission des données et les échanges d'informations entre calculateurs, en particulier entre un calculateur et un organe de sortie tel qu'une imprimante. Il est approuvé par l'ISO (International Organization for Standardization) et diffusé par l'AFNOR (Association Française de Normalisation). La suite d'impulsions 1010111, par exemple, correspondant à la suite de bits b_7, b_6, b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, provoque l'impression de la lettre W. Les deux premières colonnes correspondent à des ordres tels EOT pour « fin de transmission » ou CR pour « retour du chariot ».

pale a généralement une capacité d'une dizaine de milliers à quelques millions de caractères. Elle est complétée par des mémoires dites auxiliaires qui ne font pas partie de l'unité centrale.

Toute position de mémoire, centrale ou auxiliaire, est affectée d'un numéro constituant l'*adresse* de l'information qui s'y trouve enregistrée. L'adressage de la mémoire permet la localisation et la sélection des informations. Ainsi, la mémoire est disposée un peu à la manière des boîtes postales dans un bureau des P et T, où chaque boîte est localisée et identifiée par un numéro.

Chaque section de mémoire peut recevoir et conserver une information élémentaire. Selon le cas, il s'agira d'un caractère alphabétique, d'un chiffre ou du symbole d'un mot entier, toutes ces données étant codées en binaire.

Seule la mémoire centrale est en relation avec l'extérieur, par l'intermédiaire des organes d'entrée et des organes de sortie, et avec l'unité de traitement. Les informations stockées dans les mémoires auxiliaires doivent obligatoirement transiter par la mémoire centrale avant d'être traitées.

Un ordinateur simple comporte généra-

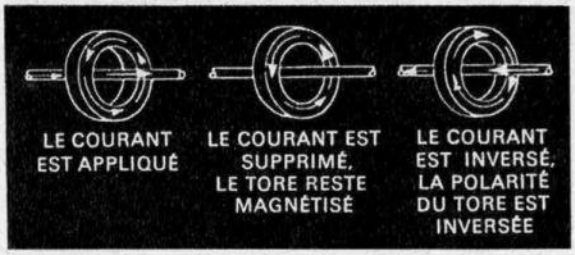


Schéma de l'inscription d'un chiffre binaire représentant un bit d'information sur un tore de ferrite au passage d'une impulsion électrique de sens convenable dans le fil.

lement un seul type de mémoire auxiliaire. Les systèmes plus complexes en comportent plusieurs niveaux, de performances hiérarchisées : tambours magnétiques, mémoires à disques, bandes magnétiques, etc.

L'adresse d'une information en mémoire étant donnée, le temps nécessaire pour la localiser et la transférer dans l'unité de traitement est appelé *temps d'accès*. La mémoire principale conserve non seulement une certaine masse de données, mais encore les instructions du programme nécessaire au traitement. Le temps d'accès à la mémoire centrale devra donc être très court. Dans les machines actuelles, il est de l'ordre de la microseconde.

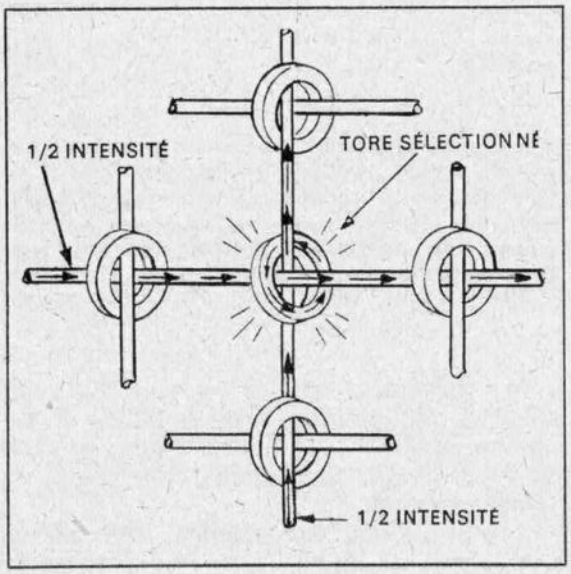
Les mémoires auxiliaires sont d'accès plus lent (quelques millisecondes à une demi-seconde), mais elles sont aussi beaucoup moins coûteuses et permettent le stockage des informations en quantités considérables.

La rapidité d'accès à la mémoire centrale découle de la technologie employée dans sa conception. Le support de l'information en mémoire centrale est constitué dans la plupart des machines actuelles par des ferrites ou tores magnétiques, qui sont des anneaux de matière ferromagnétique de quelques millimètres de diamètre.

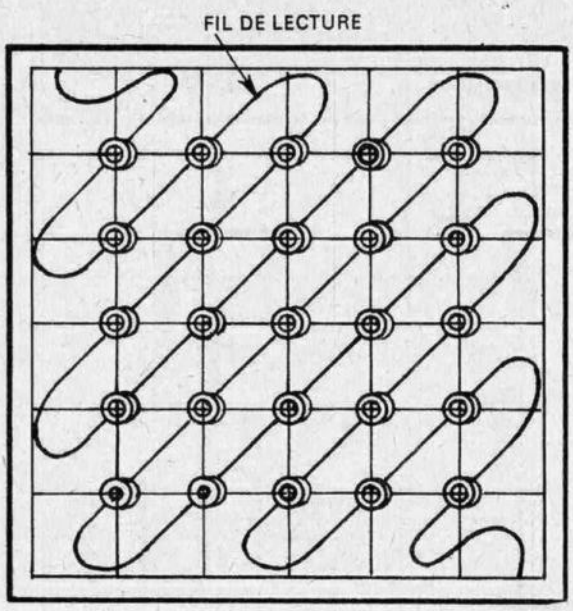
Indépendamment de ses dimensions réduites — avantage important au point de vue de l'encombrement — le tore magnétique a l'intérêt de présenter un cycle d'hystérésis pratiquement rectangulaire. Soumis au champ magnétique créé par une impulsion électrique de quelques millionièmes de seconde, le tore prendra un état magnétique maximal et le conservera indéfiniment. Pour une impulsion électrique de sens inverse, le tore reprendra son état initial. On peut, par convention, attribuer les valeurs 0 et 1 à ces deux états différents, ce qui nous fournit une traduction immédiate du code binaire.

Dans la mémoire centrale de l'ordinateur, chaque tore est traversé par deux conducteurs en disposition perpendiculaire, l'ensemble des conducteurs constituant un réseau maillé. Chacun des tores est également traversé par un conducteur commun à l'ensemble et baptisé *fil de lecture*. Si nous envoyons dans deux conducteurs perpendiculaires une impulsion de courant de valeur inférieure à l'intensité capable de faire passer l'un quelconque des tores de l'état 1 à l'état 0 et inversement, seul le tore placé à l'intersection subira, par sommation des actions élémentaires, une action magnétique suffisante pour passer d'un état à l'autre. Ainsi se trouve réalisée la possibilité d'accès à une position de mémoire à l'exclusion de toutes les autres, en fonction de l'adresse définie par les numéros des conducteurs.

Selon la polarité des impulsions et l'état magnétique initial d'un tore, nous pourrons de cette façon y inscrire un 1 ou un 0. C'est l'enregistrement. En envoyant sur un



Chaque tore magnétique est traversé par deux conducteurs perpendiculaires : si on envoie dans deux de ces conducteurs une impulsion moitié de celle nécessaire pour faire basculer un tore d'un état magnétique dans l'autre, seul le tore situé à l'intersection des deux conducteurs changera d'état (sélection).



Le fil de lecture commun à tous les tores d'une même matrice transmet les impulsions électriques induites par l'éventuel changement d'état magnétique des tores de ferrite.

tore 1 des impulsions de sens inverse à celles utilisées pour la magnétisation, il repassera à l'état 0 avec induction dans le fil de lecture d'un signal caractéristique de l'état 1. L'état 0, par contre, ne donnera lieu à aucun signal électrique dans le fil de lecture.

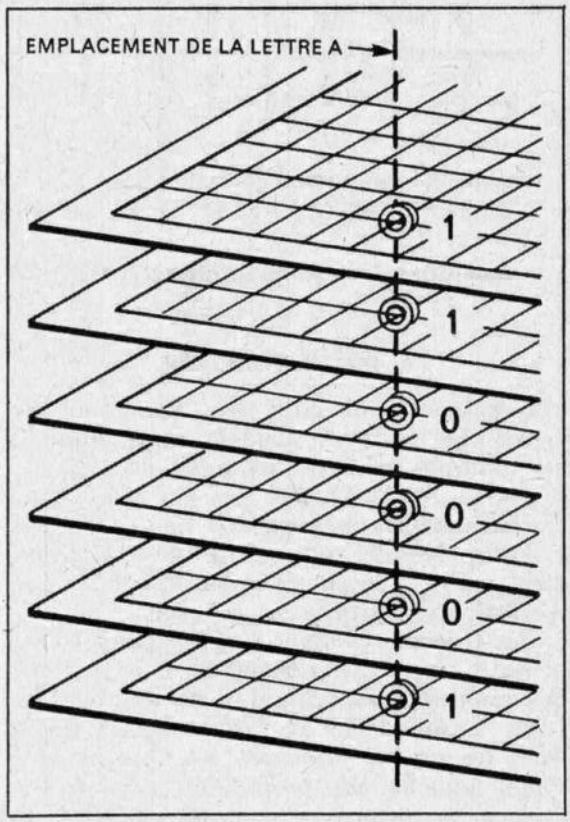
La lecture d'une information enregistrée sur mémoire à ferrites a pour effet de détruire cette information. Les ordinateurs comportent des circuits automatiques de régénération capables de reconstituer l'enregistrement initial.

Un bloc de mémoire est constitué d'un certain nombre de plans superposés de mémoires à ferrites. L'ensemble des tores correspondant à une information donnée (mot, chiffre, caractère) est situé sur la même verticale, ce qui pourra permettre de lire l'ensemble en une seule fois.

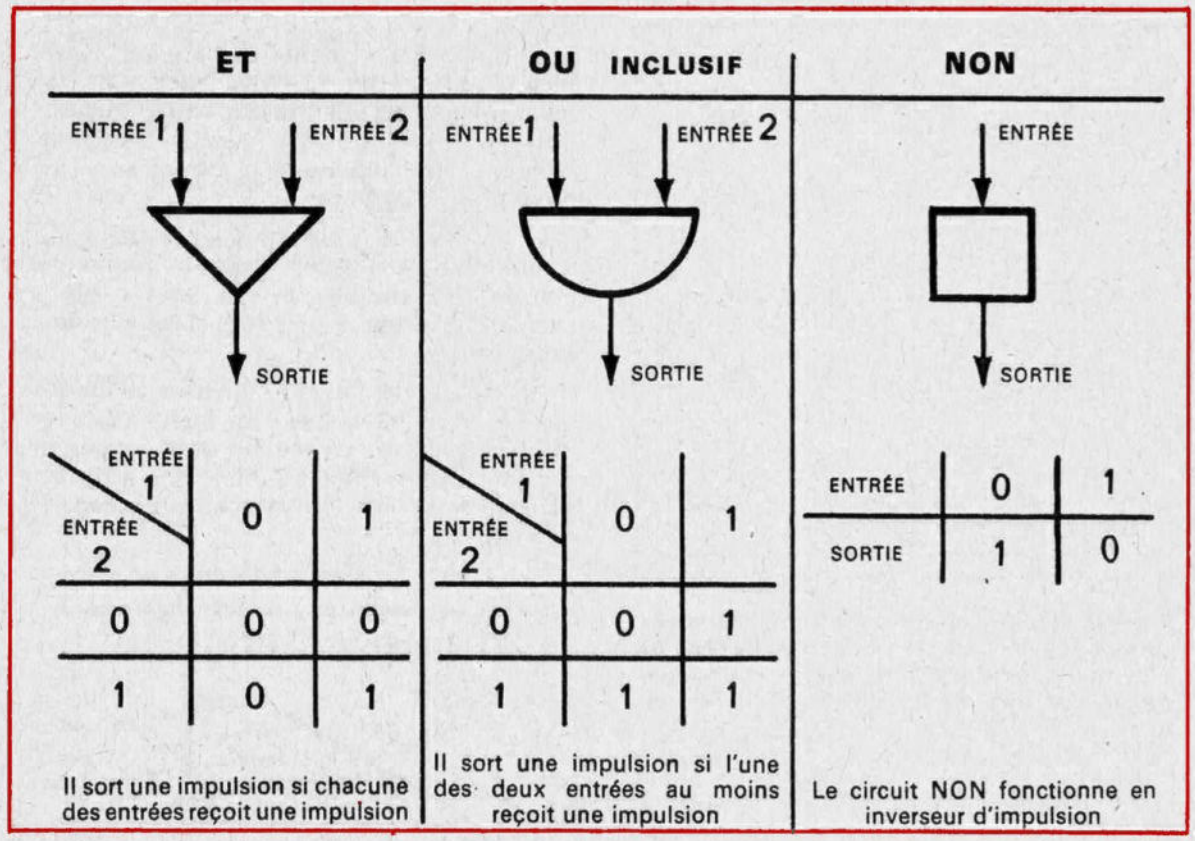
Selon le nombre de symboles binaires susceptibles d'être lus simultanément, on dira que la voie d'accès à la mémoire est plus ou moins large. La largeur de la voie et le temps d'accès constituent en fait deux des caractéristiques principales de l'ordinateur. Elles conditionnent ses performances et son prix : les machines modestes ont en général une voie d'accès étroite et nécessitent, pour un volume donné d'information, un nombre d'accès important ; les machines plus évoluées effectuent les transferts en quantités plus importantes, mais ceci nécessite des circuits électroniques plus complexes, donc d'un prix plus élevé.

Les machines puissantes comportent plusieurs blocs de mémoire centrale, munis chacun de leurs circuits propres, ce qui autorise l'accès simultané à plusieurs éléments de la mémoire.

En dehors des ferrites, d'autres techniques ont été étudiées et peuvent maintenant être utilisées pour les mémoires à accès rapide : aiguilles, films minces, etc. Les principes physiques mis en œuvre sont cependant les mêmes.



L'ensemble des « bits » correspondant à un caractère alphanumérique codé ou à un mot est disposé sur une même verticale. Ils pourront être lus simultanément par l'envoi d'impulsions en parallèle sur la série de matrices de mémoires à ferrite ainsi superposées.



Quelques fonctions logiques élémentaires réalisées par des circuits électroniques.

L'unité centrale

L'unité de traitement de l'ordinateur est constituée fondamentalement de circuits de commutation réalisant les fonctions logiques ET, OU, NON. Quelle que soit l'utilisation du calculateur, la séquence des opérations inscrites dans le programme devra pouvoir, en dernière analyse, se ramener à une série d'opérations logiques de ce type.

Les fonctions logiques ET, OU, NON, peuvent être classiquement représentées par des montages électriques dans lesquels des relais commandent le passage du courant dans un circuit principal. La fonction ET (selon laquelle une proposition z sera vraie si deux propositions x et y sont vraies simultanément, ou un état z réalisé si deux états x et y sont réalisés simultanément) peut être représentée par deux relais actionnant des contacts « travail » placés en série. La fonction NON (x est vrai si y n'est pas vrai et inversement) est définie par un montage identique, à ceci près que l'un des contacts en série est du type « repos ». Le cas de la fonction OU est plus complexe : elle peut être de type *inclusif* (z est réalisé si x *ou* y ou x *et* y le sont), ou du type *exclusif* (z est réalisé si x *ou* y est réalisé, mais pas si x *et* y existent simultanément). Dans le cas OU inclusif, les relais commandent deux contacts « travail » en parallèle. Le OU exclusif exige un inverseur.

Si nous considérons les opérations élémentaires en arithmétique binaire, nous constatons une identité avec les fonctions logiques décrites ci-dessus. Prenons pour exemple le cas de l'addition :

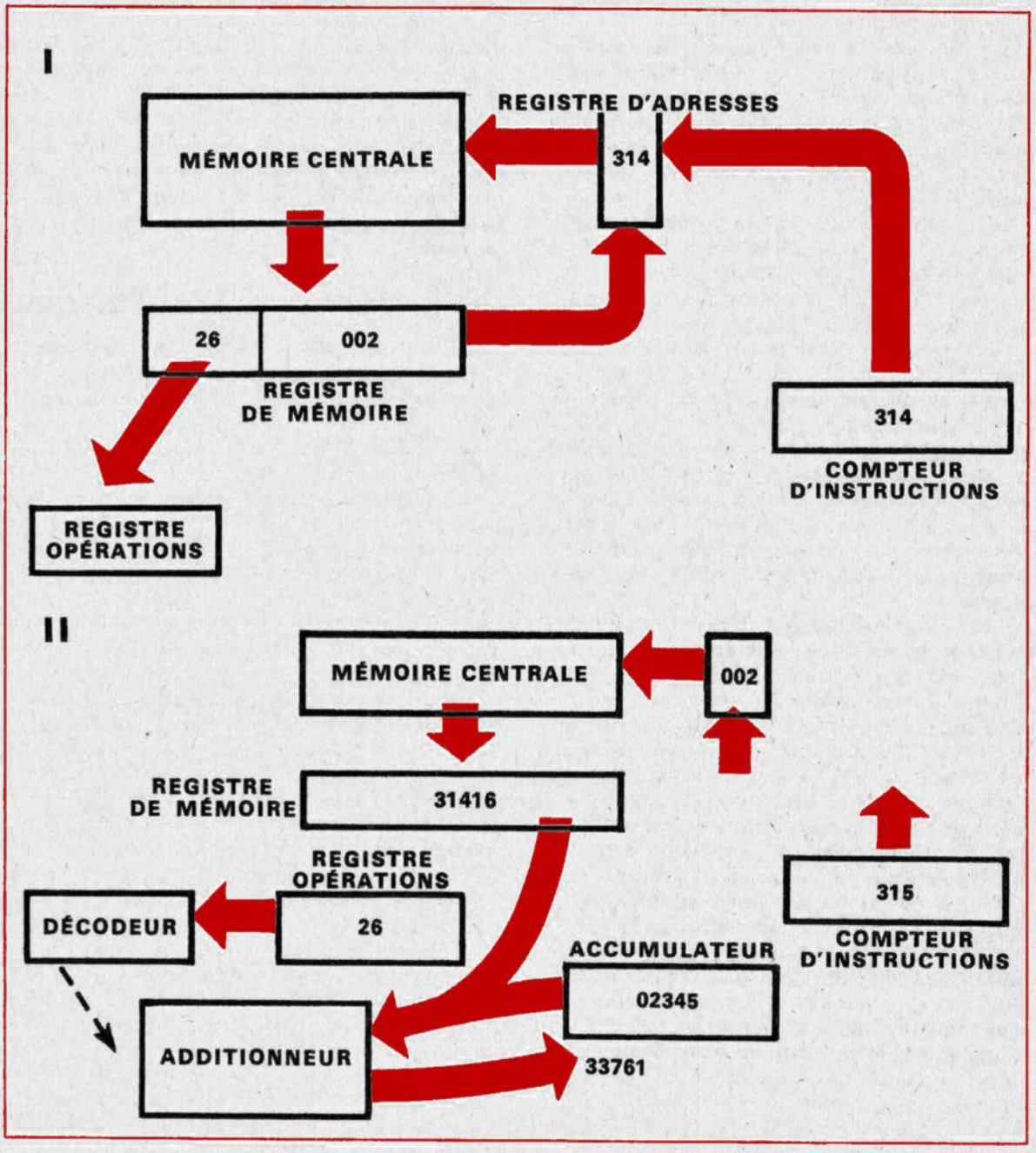
$$0 + 0 = 0$$
$$0 + 1 = 1$$
$$1 + 0 = 1$$
$$1 + 1 = 10$$

Les trois premiers cas sont les équivalents d'une fonction OU exclusif, le dernier correspond à une fonction ET.

Or toutes les informations sont, à l'inté-

CODE BINAIRE MACHINE	00011010	001001001100	0101101110110
	CODE OPÉRATION	ADRESSE A	ADRESSE B
REPRÉSENTATION DÉCIMALE	26	0652	2486

Exemple d'instruction fournie à une machine en binaire et sa représentation décimale. Elle se traduira par: ajouter le contenu de la mémoire numéro 0652 à celui de la mémoire 2486.



Exemple de calcul effectué dans l'unité centrale: dans un premier temps, l'instruction est extraite de la mémoire centrale: le code opération est envoyé dans le décodeur, la partie adresse permet d'extraire l'opérande de la mémoire centrale. Après exécution du calcul commandé (qui dans ce cas est une addition), le résultat sera renvoyé dans le registre accumulateur.

rieur de l'ordinateur, représentées en code binaire. Si nous disposons dans l'unité centrale de circuits analogues aux montages à relais décrits plus haut, nous pourrons faire exécuter par la machine toutes les opérations élémentaires.

Les circuits de commutation de l'ordinateur sont constitués de dispositifs à semiconducteurs, diodes et transistors, dont les divers modes de montage et les groupements permettent l'exécution des fonctions logiques, donc des opérations arithmétiques élémentaires.

L'exécution d'une opération arithmétique suppose d'autres activités dans l'unité centrale, précédant ou suivant le calcul proprement dit. Une des fonctions principales de l'unité de traitement sera d'aller chercher en mémoire les facteurs sur lequels s'effectuera l'opération. Lorsque celle-ci sera terminée, le résultat devra être renvoyé dans la mémoire centrale. Il faut donc fournir à la machine, sous la forme d'une *instruction*, la nature de l'opération à effectuer et également les adresses des facteurs à prendre en considération. L'ensemble des instructions nécessaires pour mener à bien une série d'opérations données constitue un *programme*.

Les programmes sont présentés aux circuits de la machine sous forme d'informations codées qui sont placées en mémoire. L'unité de traitement ira chercher dans la mémoire centrale, une à une, les instructions du programme. Les programmes peuvent d'ailleurs être placés d'abord dans une mémoire auxiliaire, enregistrés sur disques, tambours, bandes magnétiques, etc., et chargés progressivement en mémoire centrale.

L'existence et la nature du programme sont à la base de l'immense souplesse des ordinateurs. Tout processus de traitement de l'information dont on connaît les règles peut être transcrit sous forme d'un programme et exécuté par un ordinateur. Par ailleurs, le passage d'un travail à un autre se réduit à un changement de programme dans la mémoire, ce qui est l'affaire de quelques millisecondes ou quelques secondes selon le support externe du programme. Ainsi, non seulement un même ordinateur peut exécuter aussi bien des calculs de structures d'avions que tenir à jour des fichiers comptables d'une entreprise, mais il peut passer quasi-instantanément d'un travail à l'autre, par simple lecture d'un paquet de cartes perforées ou d'un enregistrement sur disque magnétique.

Chaque instruction est composée de plusieurs sections : nature de l'opération, généralement indiquée par un nombre conventionnel représentant l'une des fonctions figurant au « répertoire » de la machine ; adresse des facteurs en mémoire centrale, également indiquée par des nombres.

Les opérations de calcul et de déplacement des informations entre mémoire centrale et unité de traitement mettent en jeu des mémoires rapides d'un type particulier, de faible capacité, baptisées registres ou accumulateurs.

Fonctionnement de l'unité centrale

L'exécution d'une instruction se fait en deux étapes. La première constitue le cycle d'instruction, la seconde, le cycle d'exécution.

Le cycle d'instruction comporte lui aussi plusieurs étapes :

— l'instruction est prélevée dans la mémoire centrale et délivrée aux registres de l'unité de traitement. A cet effet, un compteur d'instructions, amené au début sur la première instruction du programme, progresse, à mesure que celui-ci se déroule, vers les adresses des instructions suivantes. Si une instruction porte, par exemple, sur cinq positions de la mémoire, le compteur progressera automatiquement de cinq positions.

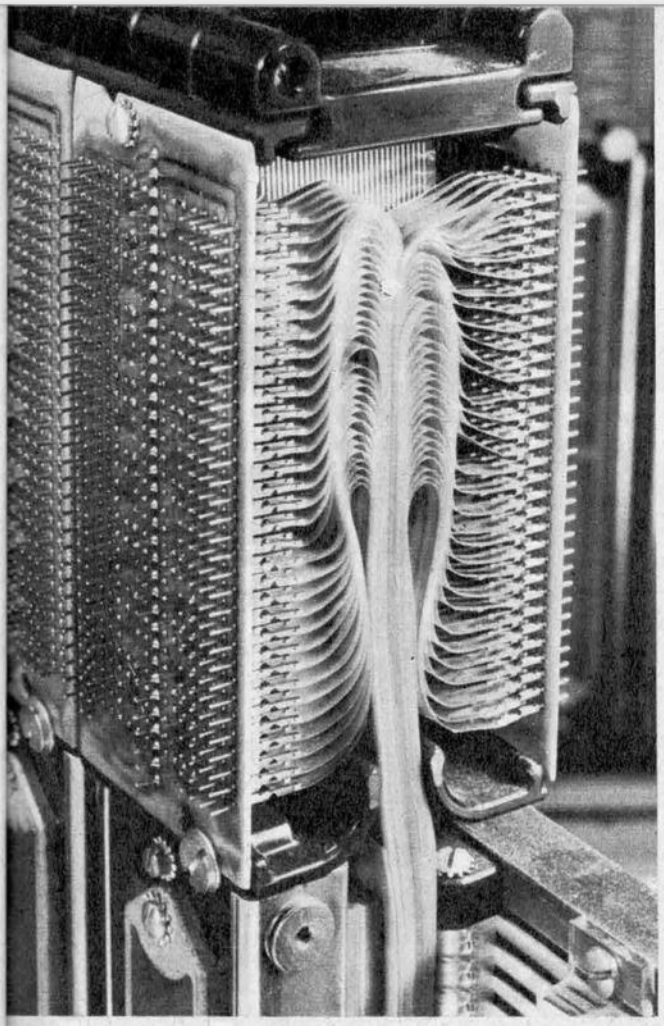
— le code opération, qui désigne la nature de l'opération à effectuer, est décodé dans un registre spécial.

— la partie adresse est dirigée sur le registre adresse qui indique à la machine la position en mémoire des opérandes, ou facteurs de l'opération prescrite (addition, soustraction, etc.).

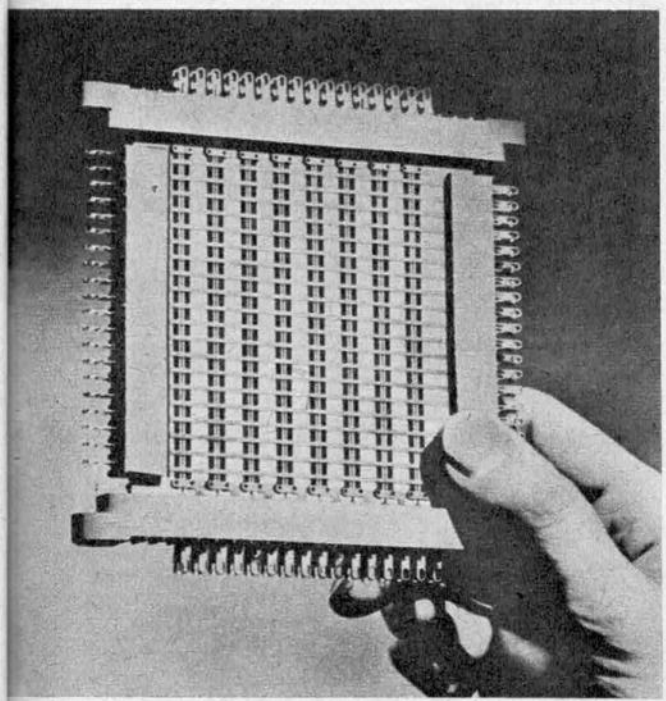
Le cycle d'exécution commence par la lecture en mémoire des informations désignées par le registre adresse. Les informations sont placées dans le registre mémoire et aiguillées vers les circuits de calcul.

Le résultat est renvoyé sur un accumulateur, d'où il pourra être transféré sur la mémoire centrale ou, en fonction des instructions du programme, être délivré à une unité de sortie (imprimante, etc.).

L'unité centrale possède en outre la faculté de pouvoir déplacer une information d'une position de mémoire dans une autre,



Imprimés sur des feuillets de matière plastique souple, destinés à faciliter le montage et l'entretien tout en réduisant le volume, voici quelques-uns des circuits de mémoire électronique d'un grand ordinateur IBM.



DOC. BURROUGHS

en fonction des instructions du programme. Ces déplacements peuvent s'accompagner d'un changement de présentation, changement de code en particulier. L'unité centrale commande aussi le fonctionnement des organes d'entrée et de sortie, par l'intermédiaire de *canaux* et *d'unités de contrôle.*

Sous la forme la plus classique, un programme se présente comme la suite des instructions qui le constituent. Toutefois, les positions de mémoire relatives à l'ensemble des instructions ne forment pas une séquence continue. Au contraire, certaines instructions impliquent une rupture de la séquence, avec passage à une autre zone de la mémoire. On parle alors de saut *inconditionnel.* Parfois, il y aura même retour au début du programme pour exécution de l'ensemble des instructions sur un autre groupe de données. Dans ce cas, le compteur d'instructions devra être lui-même ramené sur la première instruction du programme.

Si une instruction du programme est rédigée sous forme d'une comparaison à effectuer entre deux grandeurs A et B, la situation $A > B$ pourra commander un saut *conditionnel* vers une nouvelle instruction localisée en une zone différente de la mémoire, la situation $A \leqslant B$ entraînant au contraire la poursuite de la séquence. Dans de nombreux systèmes récents, la séquence d'exécution des instructions peut être affectée par des signaux reçus de l'extérieur. C'est le cas des systèmes à interruptions de programme, dans lesquels la fin d'une opération sur une unité d'entrée (lecture d'une série de cartes perforées, par exemple) peut entraîner la suspension du programme en cours d'exécution, pour laisser la place à un autre dans l'unité centrale. Une interruption de programme peut aussi être provoquée par une horloge interne, après un intervalle de temps prédéterminé. Elle peut enfin être provoquée par la rencontre d'une situation anormale, telle qu'une erreur.

Une remarque importante est qu'on ne peut distinguer de façon stricte instructions

Au delà des tores de ferrite, on a pu, avec les mémoires à film mince, abaisser encore le temps d'accès aux informations stockées en mémoire centrale. Il existe quelques variantes à cette technique, dont celle représentée ici, où de petits éléments d'un matériau ferromagnétique sont disposés à la surface d'une mince plaque de verre pour isolant.

et données. Les deux types d'informations sont rangés dans la mémoire centrale et il n'existe pas de zones particulières affectées aux unes ou aux autres. Seule l'écriture du programme conduit l'ordinateur à considérer une information rangée en mémoire comme une instruction ou comme une donnée. L'ordinateur peut ainsi facilement travailler sur ses propres instructions, par exemple s'il est programmé de telle sorte que ses instructions soient modifiées suivant les conditions rencontrées au cours d'un calcul.

Les sous-programmes

Il est fréquent qu'un même processus de calcul soit utilisé à plusieurs reprises dans le déroulement d'un programme. Il en est ainsi par exemple du calcul de nombreuses fonctions simples, en particulier pour les applications scientifiques : racines carrées, fonctions trigonométriques, logarithmes népériens ou décimaux, etc.

Ainsi, s'est dégagée la notion de sous-programme, ou microprogramme ; il s'agit d'une séquence de calcul, correspondant, par exemple, à une fonction trigonométrique, rangée en permanence en mémoire, et dont l'exécution complète en fonction des paramètres d'entrée sera déclenchée par une simple instruction dans le programme principal.

Les sous-programmes sont, pour certains d'entre eux, établis par le constructeur. Il s'agit des sous-programmes de base. D'autres, au contraire, pourront être établis par l'utilisateur en fonction de ses besoins.

On établit aujourd'hui des sous-programmes pour toutes les opérations susceptibles de se répéter un grand nombre de fois dans l'utilisation d'un ordinateur, indépendamment des séquences de calcul proprement dites. C'est ainsi qu'une bibliothèque de sous-programmes particuliers assure la gestion des organes d'entrée-sortie.

L'avantage de ce mode de travail est de permettre la réalisation de jeux d'instructions très variés, qui pourront être modifiés et enrichis à la manière d'un jeu de constructions.

La vitesse de calcul

Chaque opération élémentaire, portant sur des symboles binaires, est effectuée par un circuit élémentaire. Une fonction simple sera réalisée par la mise en œuvre successive ou simultanée d'un certain nombre de circuits élémentaires. Une machine sera d'autant plus rapide que le constructeur aura choisi un degré de parallélisme plus élevé pour les circuits de base. Mais elle sera aussi plus complexe et donc plus coûteuse.

Pour les ordinateurs les plus puissants, les vitesses opératoires des circuits de base sont actuellement de l'ordre de la nanoseconde (milliardième de seconde). Pour donner l'échelle, disons qu'il y a autant de nanosecondes dans une seconde qu'il y a de secondes dans trente ans. Une opération logique élémentaire (du type ET, OU, NON) s'exécute couramment en deux à dix nanosecondes et l'ordinateur pourra exécuter jusqu'à plusieurs millions d'instructions par seconde.

Aux vitesses de calcul très élevées, le temps de propagation des impulsions prend une importance cruciale. N'oublions pas qu'en une nanoseconde, une impulsion électrique parcourt environ 30 cm. La vitesse de calcul est donc directement liée aux dimensions des circuits et c'est une des raisons principales de la tendance actuelle à la miniaturisation.

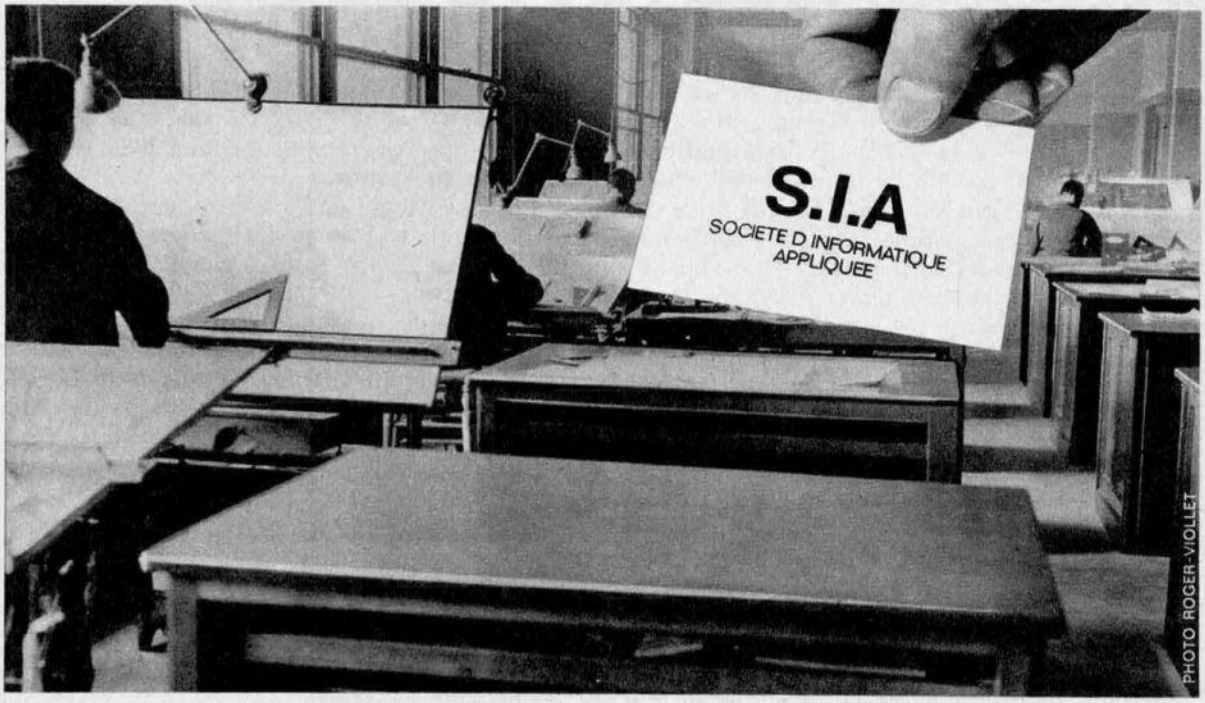
L'extraordinaire puissance des ordinateurs relève non seulement de leur vitesse de calcul, mais plus encore de leur souplesse d'utilisation. Nous avons vu que tout processus de traitement de l'information, quelle que soit sa complexité et la nature des informations, pouvait être exécuté par la machine dès lors qu'un programme approprié pouvait être écrit. Il n'y a pas d'autre limite aux possibilités des ordinateurs que celles de la capacité humaine d'écriture des programmes.

En particulier, dans les domaines où l'homme connaît assez bien les mécanismes de son propre fonctionnement intellectuel pour les exprimer sous la forme d'un programme, il peut de ce fait conférer à un ordinateur une part de son intelligence.

Du seul point de vue technologique, les progrès actuels visent à abaisser le coût des opérations réalisées en ordinateur et à leur ouvrir des domaines encore inexplorés. Il est certain que les ordinateurs pénètrent progressivement l'ensemble des activités humaines, créant une révolution informatique dont les conséquences ne seront pas moindres que celles de la révolution industrielle du XIX^{e} siècle.

G. DRÉAN

Pour aider les entreprises à résoudre les problèmes les plus variés la SIA a choisi le plus perfectionné des ordinateurs



LE CONTROL DATA 6600

La SIA, Société d'Informatique Appliquée, est une société de services. Elle aide les entreprises à résoudre leurs problèmes de gestion et de calcul scientifique. Grâce à la souplesse du Control Data 6600, à la taille de ses mémoires, à sa rapidité, elle peut résoudre les problèmes les plus variés à un coût moindre que celui de ses concurrents. Outre la SIA, le Control Data 6600 équipe déjà plusieurs entreprises en France. Si vous désirez des informations sur l'ordinateur le plus perfectionné du monde, écrivez ou téléphonez à Control Data France, Tour Nobel Puteaux - téléphone 772.12.12

CONTROL DATA
France

ANALYSE ET PROGRAMMATION

La visite d'une salle d'ordinateurs est parfois déroutante pour les non-initiés. La bonne volonté et le talent de l'informaticien qui leur sert de guide ne suffisent pas à expliquer en une ou deux heures tous les mystères des appareils apparemment non reliés entre eux. " Des câbles, des « boas », gisant sous le plancher pour ne pas qu'on s'y prenne les pieds, réalisent les jonctions ; c'est là que l'information « circule ». "

D'autres auteurs décrivent dans ce numéro les unités dont l'assemblage constitue un ordinateur, et nous n'y reviendrons pas. Mais si, dans notre salle, les dérouleurs de bandes arrêtent leurs mouvements saccadés, si les imprimantes cessent de frapper leurs 120 000 caractères à la minute, et les lecteurs d'avaler les bacs de cartes perforées qu'un opérateur leur amène sur des chariots, lorsque le visiteur attentif n'entend plus que le bruit des ventilateurs, la « machine » travaille cependant. Peut-être est-ce là l'essentiel de son aspect mystérieux ?

A des vitesses dont les mesures (milli-, micro-, nanosecondes) ne sont plus ignorées du grand public, les « flip-flop », les registres à décalage enregistrent l'information binaire, les additionneurs la transforment, les tores de ferrite des mémoires centrales ou tampons basculent (1), le quartz piézoélectrique qui constitue l'horloge principale de l'ordinateur hache le temps en émettant 8 à 10 millions d'impulsions à la seconde. Il y a manipulation, *traitement ordonné* de l'information.

Traitement ordonné : en effet, car dès l'entrée de l'information dans le lecteur de cartes, elle est prise en charge par les *organes de commande* qui dirigeront les transferts, les stockages, les calculs, l'édition de l'information élaborée sous forme d'états ou de listes de résultats qu'un ingénieur ou un comptable pourra lire et interpréter aisément.

(1) Il ne s'agit bien sûr que du passage d'un état magnétique à l'autre état magnétique qu'ils peuvent prendre

Mais les organes de commande ont d'abord reçu leurs ordres, leurs *instructions,* sous la forme d'un *programme,* lui-même enregistré dans les mémoires.

La succession des phases opératoires est alors : enregistrement du programme, puis de l'information à traiter, calculs, restitution des résultats.

Loin de la machine, mais connaissant la liste des ordres que celle-ci peut accepter, le programmeur établira, avant tout traitement, le programme de calculs à partir d'un *algorithme,* processus de résolution d'un problème donné.

Un exemple de programmation

Comment l'ordinateur résoudra-t-il, par exemple, l'équation du second degré $AX^2 + BX + C = 0$, dont l'algorithme de calcul bien connu est donné par le schéma en haut de la page ci-contre ?

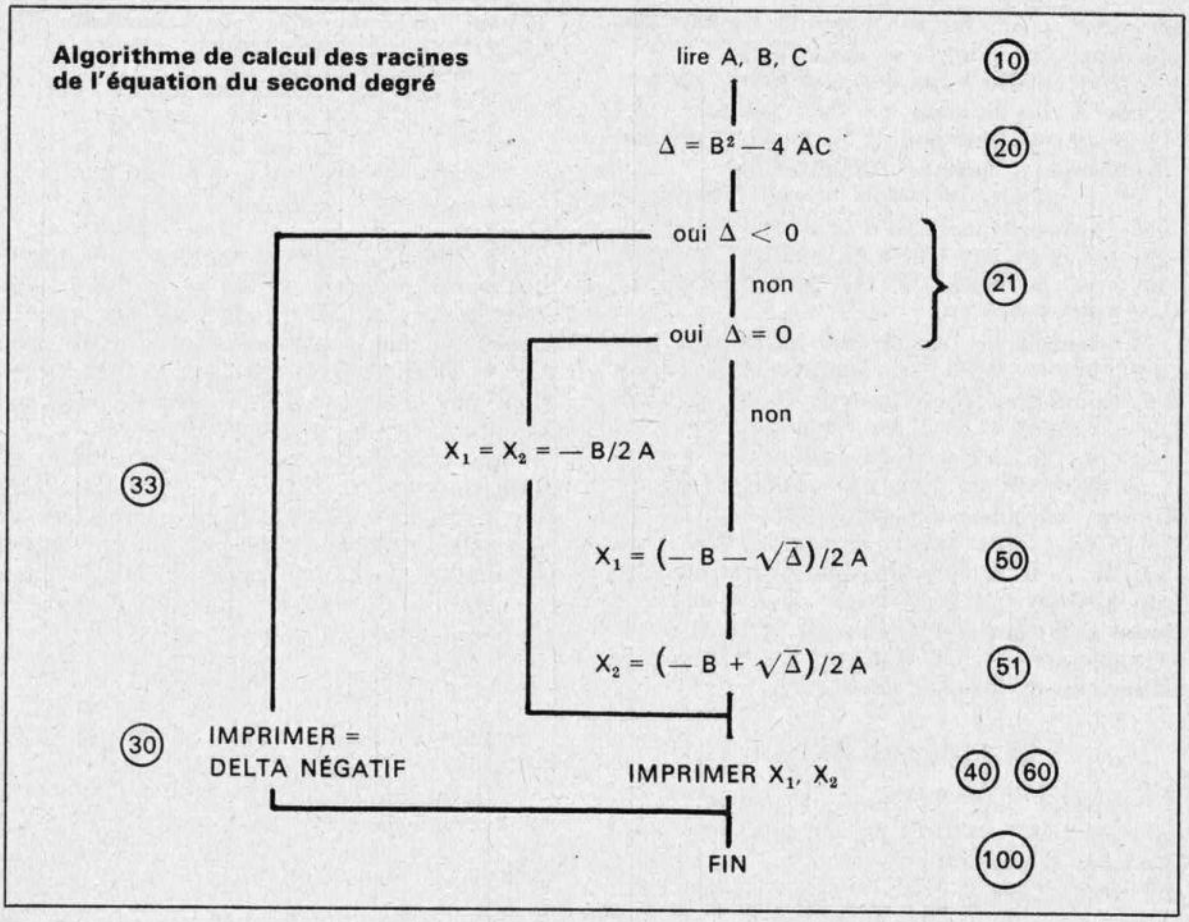
Le programme interprété par la machine sera une suite d'instructions décrivant pas à pas cet algorithme de calcul, instructions dont l'encadré en bas de page donne la liste. Elles sont numérotées et leurs numéros correspondent aux numéros cerclés de l'algorithme.

Les explications suivantes, très succinctes, permettent de mieux comprendre le rôle de chaque instruction :

— l'instruction 10 donne l'ordre de lire les données A, B et C qui sont inscrites sur cartes perforées selon le format 11, 3 F 8. 0, c'est-à-dire qu'il y a 3 données comprenant chacune 8 chiffres significatifs, en virgule fixe, sans décimales ;

— les instructions arithmétiques 20, 33, 50 et 51 calculent les valeurs de DELTA et de X, XI, X 2 à partir des formules données par l'algorithme, selon les règles de l'algèbre usuelle ;

— l'instruction 21 compare DELTA à zéro et, selon le résultat de la comparaison, renvoie aux instructions 30 ($\Delta < 0$), 33 ($\Delta = 0$), 50 ($\Delta > 0$) ;



— les instructions 32, 42 et 62 renvoient à la fin du programme et, comme l'instruction 21, permettent de faire des sauts dans le programme et de rompre l'ordre séquentiel d'exécution ;
— les instructions 30, 40, 60 permettent d'imprimer les résultats des calculs selon les formats 31, 41, 61 spécifiant la configuration que l'on veut donner aux résultats.

On imprimera, par exemple :

41 DELTA NEGATIF (14 H veut dire 14 caractères alphanumériques)

61 X1 = + 1 2 3 4 5 6, 7 8 9 0
X2 = — 9 8 7 6 5 4, 3 2 1 2

(10 chiffres dont 4 après la virgule, avec le signe). Les valeurs de X1 et X2 sont évidemment données ici à titre d'exemple.

Dans les instructions 50 et 51 apparaît le mot *SQRTF* qui est le mot-étiquette d'une fonction permettant de calculer la racine de DELTA. Cette fonction fait partie de la bibliothèque du langage.

Les langages de programmation

Pour communiquer les ordres de travail à l'ordinateur, on utilise des langages de programmation généraux, c'est-à-dire qu'ils

```
10  READ 11, A, B, C
11  FORMAT (3 F 8. 0)
20  DELTA = B * B — 4. * A * C
21  IF (DELTA) 30, 33, 50
30  PRINT (31)
31  FORMAT (14H DELTA NÉGATIF)
32  GOTO 100
33  X = — B/2. * A
40  PRINT (41), X
41  FORMAT (1 H0, 2H X =, F 10.4)
42  GOTO 100
50  X 1 = (— B — SQRTF (DELTA)) / (2. * A)
51  X 2 = (— B + SQRTF (DELTA)) / 2. * A)
60  PRINT (61), X 1, X 2
61  FORMAT (1 H0, 3H X 1 =, F10. 4/1 H0, 3H X 2 =, F 10. 4)
62  GOTO 100
100 END
```

Programme FORTRAN de calcul des racines de l'équation du second degré

peuvent être interprétés par la plupart des machines, à quelques variantes près.

On se libère ainsi des servitudes particulières à l'ordinateur et les langages deviennent très proches de la formulation mathématique et logique des problèmes.

De caractère universel, ils sont définis par un vocabulaire souvent pauvre (une cinquantaine de caractères et quelques dizaines de mots de base), et une grammaire, une syntaxe très stricte.

L'exemple de programme de la page précédente est écrit en langage FORTRAN (FORmulation TRANsposée) défini en 1958 par J. Backus, d'I.B.M. Dans cet exemple, les mots de base sont en italique.

FORTRAN est l'un des langages scientifiques les plus répandus. Un autre est l'ALGOL, alors que le langage COBOL est adapté à la programmation des problèmes de gestion administrative. Nous citerons aussi le langage de gestion PL 1, remplaçant actuellement le COBOL sur les ordinateurs I.B.M. de la troisième génération.

Le langage ALGOL

ALGOL (ALGorithmic Oriented Language) a été construit par un groupe de spécialistes internationaux dont les travaux ont été concrétisés, à l'issue d'une conférence tenue à Paris en 1960, par un rapport de référence définissant le vocabulaire et les règles de grammaire de ce langage aussi universel et aussi proche que possible du langage mathématique.

Actuellement, ce langage est aussi utilisé à la publication d'algorithmes dans une forme particulièrement concise et compréhensible par les mathématiciens. L'échange efficace de méthodes, de programmes entre les utilisateurs de matériels différents est ainsi possible.

Un programme écrit en ALGOL commence par le mot *DEBUT* et se termine par le mot *FIN*. Il se compose de deux parties bien distinctes :

— les *déclarations* qui ont pour rôle de présenter à la machine (1) les identificateurs utilisés dans le programme. Par exemple, *REEL* X, indique que l'identificateur (ou la variable) sera utilisé dans le programme et sera une variable réelle ;

— les *instructions* qui affectent des valeurs aux variables déclarées et font évoluer ces valeurs. Par exemple : A : = 3 ; la variable A prend la valeur 3. X : = A + B ; la somme A + B est affectée à la variable X.

(1) Le mot « machine » désigne ici l'ensemble des appareils de l'ordinateur (hardware) et l'ensemble des compilateurs et moniteurs (software).

Ainsi une addition se programme en ALGOL de la façon suivante :

DEBUT REEL A, B, X ;
A : = 12
B : = 5
X : = A + B
FIN

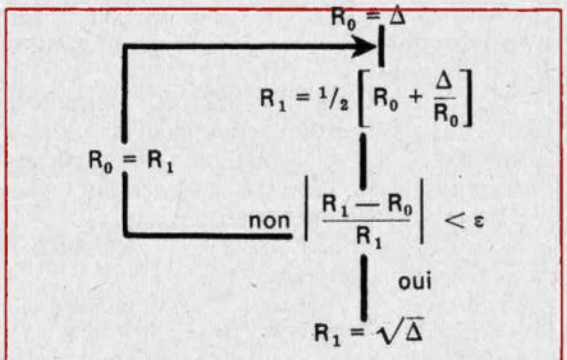
Les données, valeurs initiales, sont perforées sur des cartes mises après les cartes-programme, et le programme les appelle successivement. L'instruction d'affectation A : = DONNEE remplacera le mot DONNEE par la valeur de première donnée qui n'a pas encore été prise en compte.

Reprenons l'ensemble de la résolution de l'équation $AX^2 + B X + C = 0$, mais cette fois la fonction S Q R T F est remplacée par une partie spéciale de programme qui assure le calcul de la racine carrée de DELTA par la méthode de Newton. La racine R de Δ est donnée par la formule :

$$R_{n+1} = \frac{1}{2}\left[R_n + \frac{\Delta}{R_n}\right]$$

A partir d'un nombre R_0 quelconque, on calcule les valeurs successives R_n, R_{n+1} ... jusqu'à ce que la différence décroissante de deux résultats consécutifs soit inférieure à la précision cherchée ε, soit : $\left|\frac{R_{n+1} - R_n}{R_{n+1}}\right| \leqslant \varepsilon$.

Dans l'organigramme de la page 27, on peut inclure celui de la figure ci-dessous, avant le calcul des racines X1, X2.



Algorithme de Newton appliqué au calcul d'une racine carrée

Notre algorithme de calcul est maintenant complet et il se traduit en ALGOL par le programme figuré en haut de la page 29.

Les mots-clés en italique font partie de l'ensemble des mots de base d'ALGOL. Dans l'instruction *ALLER* A FIN, le mot FIN est en identificateur et non un mot-clé. C'est une étiquette, comme E1 et E2, destinée à repérer une instruction vide à laquelle on se renvoie si DELTA est négatif.

```
DÉBUT RÉEL A, B, C, DELTA, RACDEL, X1, X2;
    A: = DONNÉE;
    B: = DONNÉE;
    C: = DONNÉE;
    DELTA: = B * B — 4 * A * C;
    Si DELTA < 0 ALORS ALLER A FIN; FIN;
    Si DELTA = 0
    ALORS DÉBUT X1: = X2 = — B/(2 * A); ALLER A FIN; FIN;
    SINON
    DÉBUT RÉEL R0, R1, EPS;
          EPS: = 0.01;
          R0   = DELTA;
    E2: R1:  0.5 * (R0 + DELTA/R0);
          Si:  = ((R1 — R0)/R1) ↑ 2 < EPS ↑ 2
          ALORS DÉBUT RACDEL: = R1; ALLER A E1; FIN;
          SINON DÉBUT R0: = R1; ALLER A E2; FIN;
    FIN;

    E1: X1: = (— B — RACDEL)/(2 * A);
        X2: = (— B + RACDEL)/(2 * A);

    FIN:;
FIN;
```

Bloc 1 — Bloc 2

Programme ALGOL de calcul des racines de l'équation du second degré

La flèche verticale est un signe d'exponentiation.

Dans cet exemple de programme, il y a deux blocs de calcul ; un bloc commence par le mot *DEBUT*, se termine par le mot *FIN*, et après le mot *DEBUT* un certain nombre de variables ou d'identificateurs sont déclarés (dans le langage FORTRAN, les variables principales et les tableaux de variables sont déclarés en tête de programme par une instruction *DIMENSION*). Une instruction composée commence par *DEBUT*, se termine par *FIN*, sans déclaration de variable.

Un examen rapide des exemples de programmes permettra au lecteur de souligner quelques différences et ressemblances entre les deux langages FORTRAN et ALGOL.

Le langage COBOL

Ce langage a été créé et mis au point en 1959 aux Etats-Unis par un comité formé d'utilisateurs (organismes gouvernementaux) et de constructeurs d'ensembles électroniques.

COBOL (COmmon Business Oriented Language) a reçu sa forme actuelle en 1961. Il vise à mettre à la disposition des utilisateurs un langage adapté aux problèmes de gestion et aux résultats à obtenir, et non plus à la machine elle-même. Cependant, ce langage peut varier d'un constructeur à l'autre dans la réalisation qu'ils en donnent.

La structure invariable du langage COBOL comprend quatre divisions :

— *la division identification* qui contient des informations permettant d'identifier le progamme ;

— *la division équipement* qui décrit au *compilateur* les caractéristiques de l'ordinateur qui doit traiter le problème : nombre de dérouleurs de bandes magnétiques, d'imprimantes, etc. ; de plus, cette division fournit également des informations relatives aux processus de reprise et de gestion des fichiers ;

— *la division données* dont le but est de décrire de façon détaillée les fichiers, articles, résultats intermédiaires et constantes utilisés et traités par le programme ; elle doit être très soigneusement étudiée et décrite pour permettre le déroulement normal de la division suivante ;

— *la division traitement*, qui se compose des instructions que la machine doit exécuter et dont la succession constitue le traitement de l'information. Ces instructions sont écrites sous forme d'ordres simples à l'aide de *verbes* pour marquer les traitements élémentaires, de *phrases* pour décrire les séquences

de traitement et d'indications comportant la conjonction *IF* (si) pour indiquer les variantes à suivre.

L'ordre de rédaction de ces quatre divisions est rigoureusement fixé et ne doit pas être changé. Seule la division traitement nous intéresse ici.

Comme tout langage, COBOL comprend un vocabulaire, composé de mots-clés, une ponctuation et une syntaxe.

1) les mots-clés sont spécifiques du langage et en général décrivent un ordre de fonctionnement, désignent des constantes, etc. Ils se répartissent en :

— verbes d'actions indiquant les manipulations d'information, départs de calculs, transferts d'information... par exemple : *OPEN, CLOSE, READ, WRITE, MOVE...* (ouvrir, fermer, lire, écrire, déplacer un fichier) ;

— opérateurs arithmétiques tels que *ADD, SUBSTRACT, MULTIPLY, DIVIDE* (additionner, soustraire, multiplier, diviser), ou *COMPUTE* (calculer) qui est suivi d'une formule de calcul où les opérations arithmétiques sont représentées par les symboles +, —, *, /. Par exemple : *COMPUTE* = (A + B — C* D) / E ;

— opérateurs relationnels qui permettent d'indiquer les sauts et variantes d'un programme. Exemples : *GOTO* (aller à), *DISPLAY* (indiquer) ;

— opérateurs logiques qui servent à introduire des conditions logiques dans le programme : *AND, OR, NOT...*

2) les mots optionnels, équivalant à des commentaires, permettent de lire plus aisément un programme, mais le compilateur COBOL n'en tient pas compte lors du traitement de l'information.

3) les mots-données, laissés à la libre disposition du programmeur en respectant certaines règles de construction. Ils permettent d'identifier les fichiers. Par exemple : IDENTIFICATION PERSONNEL, FICHIER TAXES, etc.

A titre d'exemple, on peut écrire la division traitement d'un programme COBOL correspondant au problème suivant :

Soit à effectuer une facturation mensuelle pour des clients dont certains bénéficient d'un rabais variable selon la quantité qui leur a été livrée ; jusqu'à 500 unités de produits il n'y a pas de ristourne, de 500 à 1 000 il y a une ristourne, au delà de 1 000 la ristourne est doublée. On calcule aussi le net à payer qui comprend la TVA au taux de 20 % sur le net à payer. On écrit ensuite les factures sur une bande magnétique qui sera éditée ultérieurement.

Entre autres caractéristiques (codification,

```
PROCÉDURE DIVISION.
DEBUT
     OPEN INPUT          FICHIER CLIENTS          FICHIER LIVRAISONS
     OPEN OUPUT          FICHIER FACTURES
LECTURE   READ           FICHIER CLIENTS    AND   FICHIER LIVRAISONS
          AT END         GO TO              FIN.
     IF        RABAIS    EQUAL    ZERO      MULTIPLY    QUANTITÉ
          BY        PRIX UNITAIRE    GIVING    MONTANT
     GO TO          TAXES.
     IF   RABAIS    AND    QUANTITÉ    IS GREATER THAN    500
          AND LESS THAN    1 000
          COMPUTE    MONTANT 1 = QUANTITÉ * (PRIX UNITAIRE —
          RISTOURNE).
     IF        QUANTITÉ    IS GREATER THAN 1 000    COMPUTE
          MONTANT 2 = (QUANTITÉ — 1 000) * (PRIX UNITAIRE — (2 * RISTOURNE))
          ADD       MONTANT 1          MONTANT 2    GIVING    MONTANT
TAXES     MULTIPLY       MONTANT BY    1.25    GIVING    NET A PAYER
          MULTIPLY       NET A PAYER BY 0.20    GIVING    « DONT TAXES »
     THEN       WRITE          FACTURES
     GO TO      LECTURE
FIN.      DISPLAY ≠      IMPRESSION DIFFÉRÉE ≠
     CLOSE      FICHIER CLIENTS    FICHIER LIVRAISONS    FICHIER
          FACTURES
     STOP RUN.
```

Exemple de division traitement d'un programme COBOL

nom, adresse, etc.), le fichier clients indique si ceux-ci ont droit à un rabais ou non. Le fichier livraisons indique toutes les livraisons effectuées au client dans le mois.

Les mots-clés de COBOL sont en italique. On suppose bien entendu que toutes les caractéristiques des fichiers ont été préalablement décrites dans la division données.

Compilateurs et «langage machine»

A bien regarder, ces langages symboliques de programmation sont rudimentaires, pauvres et, s'il faut une semaine de travail environ à un ingénieur pour assimiler le langage FORTRAN, par exemple, un niveau de connaissances correspondant, pour fixer les idées, au baccalauréat, suffit généralement pour les apprendre.

L'expérience et la sanction des mises au point des programmes confirmeront ou non si l'utilisateur peut devenir un bon programmeur.

Comment la machine s'y prend-elle pour assimiler les langages et exécuter les ordres qu'elle reçoit ?

Il est bon cette fois d'examiner les phases successives d'interprétation en commençant par les ordres élémentaires que l'ordinateur peut interpréter.

Forme binaire de l'instruction

C'est un lieu commun, et de toutes façons l'exposé précédent l'a expliqué, de dire que l'information est enregistrée dans l'ordinateur sous forme binaire.

Une instruction est aussi une information et elle sera de même enregistrée sous une forme binaire.

Considérons l'instruction suivante :

I =	111 000	101 010 011	101 001 100
	TO	1re adresse	2e adresse

Elle définit un ordre que la machine exécutera, les impulsions binaires étant interprétées par les circuits électroniques de commande.

Les deux premiers groupes de 3 chiffres spécifieront le type d'opération à exécuter (addition, branchement, transfert, etc.). Le type d'opération appartient à la liste d'instructions de base qui a été définie lors de la construction de l'ordinateur.

Les autres groupes de chiffres binaires, assemblés 3 par 3 par exemple, désigneront les adresses où sont contenues les informations faisant l'objet du traitement.

Une suite d'instructions de ce type (plusieurs milliers) constituera un programme.

Cependant la forme binaire n'est pas commode à lire ou à manipuler par un programmeur; les risques d'erreurs de transcription sont élevés.

Forme octale de l'instruction

Pour remédier à ces inconvénients on utilisera la *forme octale* qui, à chaque groupe de 3 chiffres binaires, fait correspondre un chiffre de 0 à 7, selon la table suivante :

000 = 0	100 = 4
001 = 1	101 = 5
010 = 2	110 = 6
011 = 3	111 = 7

l'instruction précédente devient alors :

I = 70523514

Cette instruction est plus commode à manipuler, on peut la lire, l'éditer et les risques d'erreurs de transcription sont réduits.

Forme mnémonique

La forme octale est tout de même délicate à manipuler et elle est réservée aux programmeurs spécialisés qui ont à construire les premières pièces du « software » de la machine.

Une nouvelle transformation consistera à donner une forme mnémonique à la partie de l'instruction qui correspond au type d'opération.

Une seconde table fait correspondre un code mnémonique aux 64 combinaisons représentées par les deux premiers chiffres de l'instruction octale.

Forme octale :	Code mnémonique :
70	ADD pour addition
71	SOU pour soustraction
72	MUL pour multiplication
73	TRA pour transfert
...	...

Cette partie « type d'opération » est transformée en octal et en binaire directement par l'ordinateur. Un langage de ce type est appelé *autocodeur*.

La liste des instructions mnémoniques correspond de façon biunivoque à la liste des instructions de base que les circuits de la machine savent interpréter et exécuter.

Le programmeur peut aussi donner des noms symboliques aux grandeurs des facteurs traités par le programme. Exemple :
— forme mnémonique : ADD, MONTANT 1, MONTANT 2 ;
— forme octale : 70, 523, 514 ;
— forme binaire : 111 000, 101 010 011, 101 001 100 ;

Pour interpréter ces noms symboliques et leur faire correspondre des adresses numériques (octales ou binaires) désignant les cases de la mémoire où l'information est rangée, il est fait appel à un langage de traduction et d'assemblage.

En fait, *l'assembleur* aura d'autres fonctions, comme celles d'engendrer des macro-instructions, de regrouper certaines fonctions de bibliothèques, etc., et il est parfois considéré comme un petit compilateur.

Les détails de ces distinctions, qui peuvent paraître subtiles mais sont nécessaires, sont affaires de spécialistes et notre présentation est volontairement schématisée.

Il est aisé de voir que cette forme mnémonique minimise les risques d'erreur. En effet, le programmeur écrira plus facilement par inattention 71 ou 60 au lieu de 70, 100 110 au lieu de 111 000, que ABB au lieu de ADD. Il est aussi plus aisé d'écrire MONTANT que 523 tout au long d'un programme.

De plus, si la machine ne trouve pas ABB dans la table, elle pourra imprimer comme diagnostic d'erreur « CODE OPERATION INCONNU » alors que les combinaisons 71 et 60 en octal se trouvent dans la table et que les codes binaires 100 et 110 ont aussi une signification. En langage binaire, il y a peu de diagnostic d'erreur possible.

Mais un langage assembleur n'est valable que pour un type d'ordinateur déterminé, alors que les langages de programmation FORTRAN, ALGOL, COBOL sont valables pour tout type de machine, à de légères variantes près.

Pour passer d'un langage évolué au traitement du problème sur machine, on se servira d'un *compilateur*, spécialement écrit pour ce type d'ordinateur, et qui construira un programme pouvant être exécuté par l'ordinateur.

Ces ensembles successifs de langages, l'ordonnancement de leurs appels séquentiels ou simultanés par les parties actives de l'ordinateur, l'enchaînement des programmes utilisateurs en cours de mise au point ou d'exploitation (traitement des données réelles), sont gérés par un système *moniteur* qui définit les priorités de passage lors des exécutions, donne des ordres aux opérateurs aussi bien qu'à l'ordinateur.

Très peu de personnes spécialisées en informatique connaissent les détails des compilateurs, systèmes moniteurs, etc., et sont capables de les écrire, de les tester, de les modifier: ce sont les ingénieurs et programmeurs-systèmes.

Il va de soi que ces détails ne nous intéressent pas ici, mais le schéma en bas de page nous permettra d'y voir plus clair.

Ce schéma simplifié permet de faire la distinction entre les outils à la disposition de l'utilisateur et ce qui est spécifique de la machine. De plus, il fait apparaître ce qui est « software » (ensemble de programmes nécessaire à l'utilisation de l'ordinateur) de ce qui est « hardware » (ensemble des parties mécaniques et électroniques qui constituent l'ordinateur proprement dit).

Rôle du compilateur

La suite des instructions en langage évolué qui compose un programme sert de données à un compilateur qui le traduit en langage assembleur.

Tout se passe comme si le compilateur effectuait successivement :

— la reconnaissance des mots-clés du langage ;

— l'analyse syntaxique des instructions ;

— l'établissement des tables des variables, qui serviront à stocker leurs valeurs évolutives ou définitives.

Les résultats de la compilation sont la traduction en langage assembleur du programme de l'utilisateur, sous forme d'une liste comprenant le langage symbolique, le programme d'assemblage résultant, les tables donnant les adresses des variables et la géographie de la mémoire, les diagnostics d'erreur s'il y en a.

En fait, la traduction d'un problème de l'utilisateur en un programme comportera

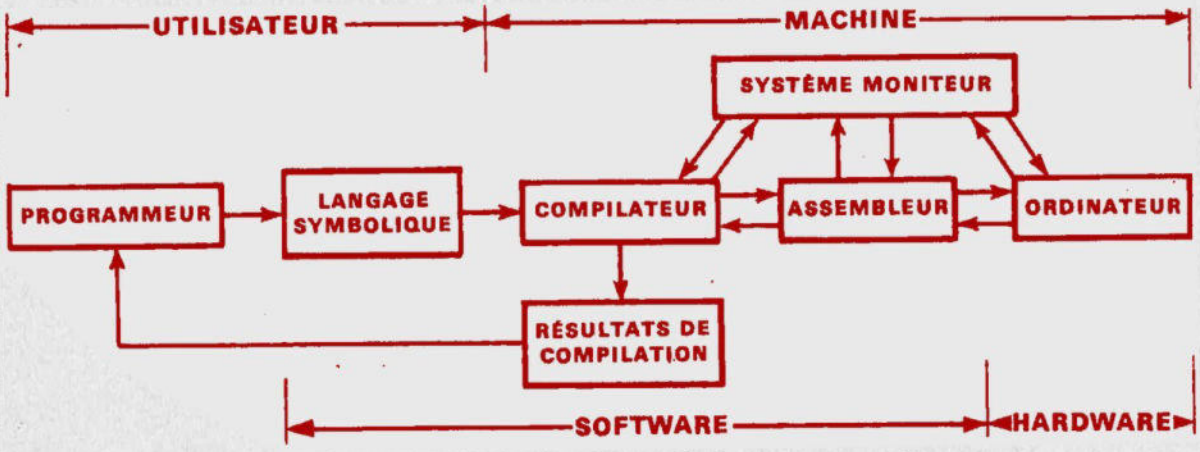


Schéma simplifié des phases de la programmation

parfois plusieurs programmes symboliques compilés séparément. Ils seront ensuite assemblés, enchaînés, une fois mis au point, et il en résultera un programme en langage binaire qui sera directement exécutable par l'ordinateur.

La compilation s'effectue de la vitesse de 100 cartes/minute (petit ordinateur type Gamma 30) à 1000/1500 c/mn (ordinateur type 360-50) et même 10 000 c/mn pour les gros ordinateurs scientifiques type CDC 3 600. Ces ordres de grandeur sont valables pour le langage FORTRAN.

Un programme comportant aisément quelques milliers de lignes d'instructions, il faudra au moins une dizaine de passages-machine pour en effectuer la mise au point.

Analyse et programmation

Les temps de compilation pour effectuer les mises au point ne sont pas négligeables, mais, une instruction symbolique se traduisant souvent par une dizaine d'instructions élémentaires, les temps de mise au point seraient bien plus grands en langage autocodeur.

Examinons quelques autres avantages de la programmation en langage évolué :

1. l'écriture d'un programme est environ dix fois plus rapide qu'en langage autocodeur ;

2. il y a réduction des erreurs d'écriture (utilisation de noms symboliques, etc.) ;

3. le compilateur fournit des diagnostics facilitant la mise au point ; un compilateur FORTRAN comprend aisément 200 diagnostics d'erreur différents, un compilateur COBOL en comprend 400 ;

4. la présentation d'un programme est claire, on peut y ajouter des commentaires expliquant les phases de calcul ; le programme peut donc être lu, compris et repris par une personne autre que celle qui l'a écrit ;

5. il est possible d'exploiter le programme sur des matériels différents ;

6. même s'il y a des modifications et des extensions aux langages, le programme n'est pas périmé pour autant.

Aucun de ces avantages ne se retrouve pour des programmes en langage autocodeur. En revanche, les programmes produits par un compilateur sont plus encombrants, il y a donc lieu d'avoir une mémoire centrale plus importante, donc plus chère. De plus, il devient nécessaire d'avoir des programmeurs-système chez l'utilisateur pour rectifier certains détails et aménager parfois les compilateurs et les systèmes moniteurs à la configuration de l'ordinateur utilisé.

Aperçu sur l'analyse

Par le mot « analyse » il faut comprendre l'ensemble des études qui permettent à une entreprise de traiter par l'informatique certains de ses problèmes.

Autrefois on distinguait *l'analyse fonctionnelle,* qui prenait en compte les données du problème et les adaptait à l'organisation de l'entreprise, de *l'analyse organique* qui adaptait le problème à l'ordinateur utilisé.

La programmation en langage symbolique a quelque peu modifié cette distinction.

L'analyse d'un problème scientifique se confond avec l'analyse numérique de la méthode utilisée. Analyse et programmation se confondent.

Ceci est faux si les données du problème sont volumineuses et si l'on doit les stocker sur des bandes ou des disques magnétiques, si l'on doit aussi faire des traitements périodiques en stockant des historiques. On se ramène alors aux phases de travail d'un problème de gestion.

En gestion administrative, l'analyse fonctionnelle évolue vers l'organisation en ce sens que le problème doit être réorganisé en tenant compte des ordinateurs :

— réorganisation des bordereaux d'entrée ;
— allégement des états de sortie ;
— définition des états de synthèse ;
— réorganisation complète des circuits de documents, etc.

De façon lapidaire, on examine « qui faisait quoi et comment » et on définit « comment et quand, qui fera quoi ».

L'analyse organique fera le découpage des problèmes en unités de traitement et en passages-machine, définira les modes de stockage de l'information, les dessins de fichiers, etc., mais l'analyste doit savoir comment travaille un compilateur, un système moniteur, en un mot savoir programmer et utiliser l'ordinateur.

On parlait de l'adaptation des ordinateurs aux travaux de l'entreprise ; aujourd'hui, et c'est peut-être là le point-clé de la « révolution de l'informatique », si révolution il y a, on pense réorganisation des problèmes de l'entreprise pour adapter les traitements aux possibilités des ordinateurs.

Dans une entreprise soucieuse d'améliorer sa gestion et de rentabiliser les services d'un ordinateur, l'organisation sera faite par des informaticiens et l'analyse des problèmes par d'excellents programmeurs.

A. LE GARFF

SYSTEMES D'ENTREES-SORTIES

On peut présenter les machines classiques, au sens du mécanicien, comme des amplificateurs de l'activité physique de l'homme. Parallèlement, les ordinateurs peuvent être conçus comme des amplificateurs de son activité mentale. Une machine ne peut être efficace que si elle possède des commandes réalisant une bonne adaptation entre son conducteur et la mécanique.

Un ordinateur ne peut être utile que s'il est équipé de moyens d'accès lui permettant un échange d'informations avec le milieu extérieur et en particulier avec les hommes qui s'en servent. Entendons par là que l'ordinateur doit pouvoir :

1° Enregistrer les programmes qui définissent dans tous les détails ce qu'il doit accomplir ;

2° Enregistrer les données sur lesquelles il doit travailler : ce sont les informations à traiter ;

3° Présenter les résultats de son travail : se sont les informations élaborées.

Il s'agit bien là de fonctions d'« entrée » et de « sortie », étant admis que les programmes ne sont que des informations d'une nature particulière qu'il faut aussi introduire dans l'ordinateur.

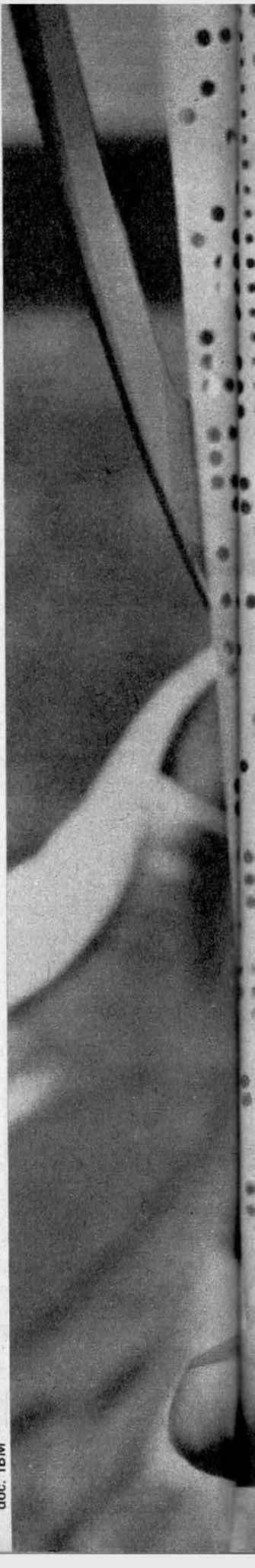
Ces fonctions supposent à la fois l'existence de dispositifs physiques d'entrée-sortie et de programmes spécifiques destinés à commander et à contrôler ces dispositifs.

C'est l'ensemble des dispositifs et des programmes spécifiques d'entrée-sortie que l'on désigne sous le nom de « système d'entrée-sortie » d'un ordinateur.

L'ensemble du système doit être conçu pour rendre aussi aisée que possible chaque phase du travail.

Et c'est là qu'apparaît la nécessité d'un compromis entre la facilité d'emploi et le coût du temps ordinateur.

Prenons un exemple : Si un ordinateur est construit pour calculer en numération binaire, il faut évidemment que les données parviennent en binaire dans les circuits de calcul. Mais l'utilisateur les fournit généralement en numération décimale. L'opération de conversion de la numération décimale à la numération binaire peut être faite exté-



La bande de papier perforé, dont il existe divers types, est l'une des formes classiques d'entrée des informations à l'intérieur de l'ordinateur.

doc. IBM

rieurement. Alors le travail de l'ordinateur est réduit, mais il n'y a aucune facilité d'emploi pour l'utilisateur. Et l'on juge préférable de confier cette conversion à un programme du système. C'est une tâche que doit assumer l'ordinateur; cela lui demande un peu de temps, mais l'adaptation entre l'ordinateur et l'utilisateur est infiniment meilleure puisqu'ils communiquent dans le même langage arithmétique. L'une des caractéristiques du développement actuel des systèmes d'entrée-sortie est la recherche d'une facilité toujours plus grande pour l'utilisateur. C'est devenu possible grâce aux progrès qui ont été réalisés simultanément dans la conception et dans la technologie des dispositifs d'entrée-sortie.

L'ÉQUIPEMENT D'UN ORDINATEUR COURANT

Le support d'information de loin le plus répandu encore à l'heure actuelle est le papier et les ordinateurs en sont de gros consomateurs. Programmes et données se présentent le plus souvent sous forme de cartes perforées; une carte est en gros l'équivalent de 80 caractères. On trouve dans toute installation un lecteur de cartes. Des modèles courants lisent de 1 000 à 1 200 cartes à la minute. La sortie des résultats se fait sur une machine imprimante qui frappe simultanément les 130 à 160 caractères d'une ligne à raison de 1 000 à 1 200 lignes à la minute. On trouve aussi une console équipée au minimum d'une machine à écrire électrique. Ce n'est pas le canal normal d'entrée des données, ni des programmes, encore moins le canal de sortie des résultats ; c'est le pupitre de commande. Cette machine est essentiellement réservée au dialogue entre l'opérateur et l'ordinateur. C'est par là que s'échangent toutes les informations auxiliaires : ordres de lancement ou d'arrêt des travaux, manipulations diverses, etc. C'est là que l'ordinateur tient automatiquement, sous le contrôle d'un programme spécial, un véritable livre de bord. Il faut mentionner aussi un certain nombre de dérouleurs de rubans magnétiques bien que ces éléments soient ambivalents. Un ruban magnétique peut être, selon les cas, un prolongement de la mémoire ou un moyen d'entrée-sortie. Certaines données, en effet, peuvent être fournies directement par ruban magnétique sans aucune présentation en clair préalable, grâce à des dispositifs de mesure numérique avec enregistrement dont l'emploi va croissant. C'est aussi un moyen courant d'échange d'informations entre ordinateurs. Les cadences usuelles de lecture et d'enregistrement des rubans magnétiques sont très variables et vont, en gros, de 10 000 à 100 000 caractères par seconde et même bien au-delà.

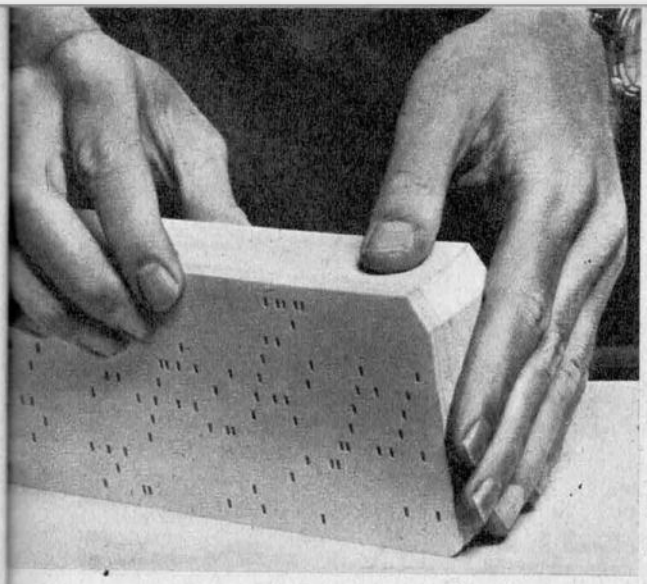
On peut trouver de nombreux autres dispositifs autour d'un ordinateur (nous y reviendrons), et il n'est pas rare, non plus, de voir plusieurs lecteurs de cartes et plusieurs imprimantes dans une même installation. Une question vient alors à l'esprit : comment tout cela peut-il marcher ensemble ?

LE LIÈVRE ET LA TORTUE

Quelques chiffres vont vous mettre sur la voie de la réponse. Le traitement proprement dit de l'information se fait principalement dans des circuits électroniques fonctionnant à des cadences très élevées. Disons, pour fixer les idées, qu'un ordinateur moderne peut effectuer 1 million d'opérations, arithmétiques ou logiques, à la seconde. Les dispositifs d'entrée-sortie comportent tous une partie mécanique ou électromécanique qui possède une inertie, et cette inertie limite considérablement les vitesses possibles. Il suffirait, en principe, de rapprocher les chiffres cités plus haut pour faire apparaître le déséquilibre énorme des vitesse. Mais ils ne sont pas à notre échelle : on ne conçoit pas une microseconde.

Supposons donc que nous remplaçons l'ordinateur par un homme qui effectuerait une opération en 10 secondes (c'est déjà une performance !) sans manger ni dormir. En transportant à cette échelle les vitesses du lecteur de cartes et de l'imprimante, notre calculateur prodige recevrait les données de ses calculs à raison d'un chiffre toutes les 2 heures, disons un nombre complet chaque matin. Et c'est à peu près à la même cadence qu'il pourrait transmettre ses résultats. Les choses iraient un peu plus vite avec les rubans magnétiques : la cadence des échanges serait d'environ un nombre toutes les heures. Ne parlons pas de la machine à écrire : elle permet à peine d'échanger un mot tous les huit jours.

Si le problème posé consiste, par exemple, à calculer les carrés d'une centaine de nombres donnés, le calculateur devrait attendre plus de 3 mois que toutes les données lui



doc. IBM

Une carte perforée du type classique comprend 960 positions de perforation, en 80 colonnes de 12 lignes. A chaque perforation correspond un chiffre décimal ou une lettre de l'alphabet codée. On peut aussi perforer directement les cartes en langage binaire, en particulier pour l'introduction des programmes dans la machine.

soient fournies; il exécuterait les opérations en 20 minutes à peine, et il faudrait encore 3 mois pour transmettre les résultats. Ce petit exemple fait toucher du doigt une possibilité d'amélioration. Pourquoi, en effet, attendre que toutes les données soient fournies pour commencer le calcul ? Il est manifestement possible d'élever chaque nombre au carré dès qu'il est arrivé et de transmettre le résultat immédiatement. La durée totale du travail se trouve ainsi divisée par deux et ramenée à 3 mois. Mais le calculateur ne travaillera que 10 secondes par jour. Une telle organisation est possible toutes les fois qu'il s'agit d'appliquer de manière répétitive un même programme à des ensembles homogènes d'information. C'est le cas d'une paye, d'une facturation, par exemple. Il y a cependant de nombreux travaux où ce schéma ne peut pas s'appliquer. Et même lorsqu'il s'applique, la durée des calculs à effectuer sur un lot d'information peut être variable : ainsi la durée de calcul d'une facture dépend évidemment du nombre d'articles facturés.

Dans les ordinateurs des premières générations, on a cherché à tirer tout le parti possible des remarques précédentes. Mais à cette époque les vitesses de calcul étaient de 100 à 1 000 fois plus faibles qu'aujourd'hui. Aussi la durée de calcul devenait comparable aux délais de transmission des informations. C'était une des tâches difficiles du programmeur que de tenir compte des durées des cycles d'entrée-sortie et des calculs pour organiser un programme bien synchronisé. C'était à lui de prévoir toutes les sécurités nécessaires, toutes les boucles d'attentes, tous les contrôles. C'était une affaire de spécialistes bien entraînés. Chaque programme devait être étudié minutieusement et l'on avait l'impression qu'il n'existait guère de méthode générale. Or, au fur et à mesure que se perfectionnait la technologie des circuits et qu'augmentait la vitesse de calcul, le sous-emploi de la partie la plus chère des ordinateurs devenait flagrant et l'idée s'imposait avec force de multiplier les dispositifs d'entrée-sortie pour équilibrer les débits d'information. Mais il fallait du même coup trouver le moyen de traiter plusieurs programmes à la fois.

POUR ALLER VITE : SAVOIR S'INTERROMPRE

Pour profiter de la marge de temps disponible dans les circuits centraux, on a écrit des programmes chargés de gérer les dispositifs d'entrée-sortie. Ces programmes testent l'état de fonctionnement de chaque dispositif, vérifient la qualité des transmissions au moyen des codes de contrôle prévus à cet effet, tentent de remédier aux incidents qui peuvent se produire et, si ce n'est pas possible, font appel à l'opérateur en signalant le défaut. Ils assurent en outre les conversions et transcodages nécessaires pour passer des codes externes aux codes internes et réciproquement. Ce sont les programmes du système d'entrée-sortie.

Le fonctionnement de l'ordinateur est alors le suivant : lorsque le programme principal, qui assure le traitement des informations, requiert une opération d'entrée par exemple, il fait appel à un programme du système. Celui-ci met en route le dispositif voulu, puis il attend que les informations demandées soient disponibles. Dans l'ancienne organisation, on ne faisait rien d'autre et ce temps était perdu. Dans une organisation actuelle, le programme d'entrée s'interrompt alors et rend la main au programme principal qui poursuit son activité. Jusqu'à présent, pas de difficulté, car c'est le programme principal qui a l'initiative et qui appelle le système d'entrée-sortie à un moment bien déterminé.

Lorsque les informations demandées seront

disponibles, on ne sait pas à l'avance où en sera le programme principal. Il n'est donc pas possible d'y insérer un nouveau branchement vers le programme du système d'entrée. Il faut donc pouvoir interrompre le programme principal sur un signal du lecteur de cartes. C'est possible grâce à un dispositif d'interruption de programme qui fait partie des circuits de l'ordinateur. Lorsque le signal d'interruption est présent, le programme principal s'arrête et les informations actives qui occupent les circuits centraux sont mises en réserve dans une zone prévue de la mémoire centrale. Ces circuits sont alors disponibles pour que le programme du système d'entrée puisse se dérouler. La conversion des données introduites et leur mise en mémoire peut être achevée, puis le programme principal repart du point où il était arrêté. Les choses se passent de manière tout à fait analogue pour les opérations de sortie.

La clé de la solution, c'est le dispositif *d'interruption de programme*. On peut concevoir maintenant que chaque dispositif d'entrée-sortie possède une ligne particulière pour acheminer un signal de demande d'interruption. Une nouvelle difficulté surgit alors car plusieurs demandes d'interruption peuvent apparaître simultanément. On y remédie en établissant un ordre de priorité entre elles.

Les règles qui président au choix de ces priorités sont complexes. Disons seulement qu'on donne en général la plus haute priorité aux demandes émanant de dispositifs mécaniques ou électromécaniques (machine à écrire, lecteurs de cartes, imprimantes) qui ne peuvent pas s'arrêter facilement du fait de leur inertie, mais qui ont un débit relativement faible. On attribue la priorité la plus basse au programme principal.

Cette organisation peut sembler compliquée. Elle l'est en réalité et plus encore qu'il n'y paraît, si on la considère de l'intérieur, c'est-à-dire du point de vue de l'ordinateur. Un système actuel se compose en fait d'une hiérarchie de programmes pouvant s'appeler ou s'interrompre les uns les autres et il n'est pas question d'entrer ici dans le détail. Mais il convient d'examiner comment on peut tirer le meilleur parti possible de la connexion simultanée d'un nombre à peu près quelconque de dispositifs d'entrée-sortie.

Si l'on considère un programme principal, ou un travail, isolément, on voit mal en effet comment introduire les données sur 2 lecteurs de cartes à la fois et sortir les résultats sur 3 imprimantes... Il faut considérer l'enchaînement des travaux. Il faut admettre aussi que l'ordinateur est équipé d'une capacité de mémoire suffisante. On peut alors imaginer le déroulement simultané de 3 programmes du système. Le premier accumule dans une mémoire tampon les programmes correspondant aux travaux demandés ainsi que les données afférentes, au fur et à mesure qu'on les dispose sur l'un ou l'autre des lecteurs de cartes. On entre en même temps autant de travaux qu'il y a de lecteurs et chaque lecteur peut être alimenté en permanence jusqu'à saturation du tampon d'entrée. Un 2e programme du système prélève les travaux dans le tampon d'entrée, commande leur exécution et accumule les résultats dans une mémoire tampon de sortie. Un 3e programme enfin provoque l'édition sur telle ou telle imprimante, selon les disponibilités des résultats des travaux achevés qu'il récupère dans le tampon de sortie. C'est là que le jeu des interruptions de programme acquiert sa pleine efficacité et que l'on peut espérer utiliser au mieux l'ordinateur.

On voit en effet que l'ordinateur n'exécute jamais qu'un travail principal à la fois. Mais pendant que ce travail est en cours, il arrive de temps à autre qu'il soit interrompu un court instant pour satisfaire les demandes des programmes d'entrée-sortie. Et cela suffit pour que les dispositifs d'entrée-sortie fonctionnent à pleine cadence, même s'ils sont un peu nombreux. C'est ce qui permet d'échapper au dilemme coût - facilité d'emploi signalé au début.

DE L'ÉCRITURE AU DESSIN

Les progrès de l'organisation des ordinateurs ont permis le développement d'une grande variété de dispositifs d'entrée-sortie. Citons d'abord les sorties graphiques. Il y a bien sûr des catégories d'informations élaborées par les ordinateurs qu'il est inconcevable de présenter autrement que sous forme d'état imprimé : une facture, un arrêté de compte, un bulletin de paye, etc. Par contre, des statistiques, des résultats de calculs techniques ou scientifiques, peuvent être avantageusement présentés sous forme de graphiques. S'il s'agit, par exemple, de calculer une

doc. S.A.T.

Un téléimprimeur électronique pour l'introduction de données dans un ordinateur par un terminal à distance. L'opératrice peut soit envoyer directement des données à la vitesse de frappe sur le clavier, soit préparer avec ce même clavier une bande perforée qui sera lue par le téléimprimeur.

doc. SAGEM - Photo Marchand

Une station terminale de transmission de données à un ordinateur. A droite, le « modem » (modulateur-démodulateur) connecté au réseau téléphonique général. Au centre, le pupitre d'exploitation qui permet à l'opératrice de communiquer avec le poste central. A gauche, le lecteur de la bande perforée qui a été préparée pour transmission rapide.

trajectoire, le dessin de la trajectoire est plus « parlant » qu'une longue colonne de chiffres.

Supposons pour simplifier que la trajectoire en question soit plane. Le résultat du calcul consiste en une suite de coordonnées définissant un ensemble fini de points, dans ce plan. Ce sont les positions occupées par le mobile à des instants en progression arithmétique, mettons toutes les secondes. Les coordonnées de ces points sont transmises à un programme du système chargé de préparer les commandes d'un « traceur » automatique. Ce programme assure d'abord une mise à l'échelle. Il vérifie ensuite que les points à représenter ne sortent pas du cadre prévu pour le dessin. Puis il élabore la succession des commandes qui provoqueront le déplacement de la plume du point actuel au prochain point à atteindre, en fonction du type de trait demandé : trait continu, interrompu, pointillé, etc. Le tracé d'une courbe se fait en général par des tronçons de droites. Si les points calculés sont assez proches, cet à-peu-près graphique passera inaperçu et l'on verra malgré tout des arrondis parfaits. Une fois la courbe tracée, il faut achever la présentation du graphique en y portant des axes gradués, ainsi que tous les repères et les libellés permettant d'identifier le travail. Remarquons en particulier que le tracé des lettres et des chiffres est obtenu en définissant chaque caractère par les coordonnées d'un certain nombre de ses points. C'est encore le programme spécial du système qui élabore ces coordonnées à partir des libellés en clair fournis par le programme principal ou par l'utilisateur.

doc. Friden

Un « terminal » connectable à tous les types d'ordinateurs, composé d'un clavier de machine à écrire, d'une imprimante, et de dispositifs à circuits intégrés pour la traduction directe des informations frappées sur le clavier dans un langage universel.

Avec un programme de tracé bien conçu, les graphiques obtenus n'ont rien à envier à ceux que peut exécuter un bon dessinateur, ni en ce qui concerne la qualité du tracé, ni en ce qui concerne la précision. Les matériels actuels travaillent avec une précision meilleure que 0,05 millimètre.

Mais un bon programme de tracé est complexe et prend du temps ordinateur. Il y a des tâches qui paraissent simples et qu'un dessinateur exécute de manière presque instinctive et qui entraînent une complication notable du programme de tracé. Pour n'en citer qu'une, prenons la mise en place des libellés et des indications numériques en choisissant le corps de caractère et l'emplacement convenable. Comment éliminer le risque de surimpression ? Le problème se pose de manière aiguë en cartographie. Il se pose aussi à propos de graphies beaucoup plus simples : graduer une courbe irrégulière, par exemple. L'expérience et le jugement d'un dessinateur le conduisent aisément au meilleur compromis. Mais le programme chargé de cette tâche est d'une grande complexité.

Nous avons écarté jusqu'ici la 3^{e} dimension. Elle est pourtant nécessaire. Bien sûr, le papier n'en a que deux et l'on n'évitera pas le recours aux artifices classiques qui sont les projections sur différents plans, les perspectives, les vues cavalières et même la stéréographie. Il s'agit là de problèmes de géométrie bien connus et les formules de passage d'un espace à 3 dimensions à l'une ou l'autre des représentations planes sont aisées à mettre en programme.

Ce qui l'est moins, c'est la solution du problème des parties cachées et des ombres. Là encore, un dessinateur entraîné agit presque instinctivement; il sait mener son trait figurant une arrête visible jusqu'à l'endroit où il disparaît et l'interrompre ou le prolonger en pointillé. La construction graphique est bien plus aisée en général que le calcul. Or l'ordinateur ne dispose que du calcul. On en est venu à bout, pourtant, et l'on

a pu faire des programmes de présentation en perspective qui éliminent les parties cachées. Et ce progrès a donné un avantage décisif à l'ordinateur car il est en mesure de produire à haute cadence toute une succession de vues perspectives grâce auxquelles l'utilisateur peut juger son étude sous toutes ses faces.

Prenons encore un exemple : l'étude du tracé et du profil d'une autoroute. A côté des impératifs économiques et techniques qui imposent le tracé de la chaussée, il y a un aspect subjectif et psychologique. Comment l'automobiliste verra-t-il la route ? Comment réagira-t-il ? Il n'y a pas de meilleur moyen pour le savoir que de faire un essai. Et c'est là que l'ordinateur qui dessine peut être très utile. Une fois arrêté le profil de l'autoroute, une fois calculés les déblais, les remblais, etc. l'ordinateur possède dans ses mémoires la description numérique et codée de tout l'ouvrage. On peut alors faire appel à un programme de perspectives qui va produire toute une succession de vues de la future autoroute telle que la verrait un conducteur la parcourant dans un sens ou dans l'autre. Sachons-le bien cependant, c'est un très gros travail, même pour un ordinateur. Et puis, est-ce suffisant ? On disposera en fin de travail d'une suite discontinue de dessins qui ne donnera pas encore la sensation du mouvement. Alors ?

DU DESSIN AU CINÉMA

Les traceurs automatiques ont des limitations. Leurs vitesse, pour des raisons mécaniques, reste inférieure à quelques dizaines de centimètres par seconde. Et ils utilisent du papier dont on risque d'être vite encombré. C'est encore l'électronique qui apporte la solution grâce au tube à rayons cathodiques, le tube de télévision familier. La technologie est complètement différente; mais les programmes restent les mêmes, au moins

Le système de visualisation IBM 1250, associé au petit calculateur 1130 a été mis au point à l'intention des ingénieurs et des chercheurs scientifiques. L'ensemble peut être éventuellement connecté à une machine plus puissante, de la série 360.

dans une première étape. La vitesse aussi a bien changé : elle est multipliée par 100. On voit tout de suite que l'on tient la solution du problème de simulation de l'autoroute. On peut préparer un plus grand nombre de perspectives, les prendre plus rapprochées et les filmer comme un dessin animé. On peut même placer l'utilisateur, architecte ou ingénieur directement devant l'écran, comme devant un écran de télévision. Quel progrès depuis la machine à écrire et la carte perforée !

A présent, l'ordinateur exprime ses résultats sous une forme extrêmement synthétique et l'utilisateur peut avoir sous les yeux en peu de temps le résultat de ses hypothèses de calcul. Vient-il à changer un paramètre ? Aussitôt il voit les courbes représentant les solutions se déformer, s'écartant ou se rapprochant de l'idéal souhaité. A présent, on commence à pouvoir parler du « dialogue » de l'homme avec l'ordinateur.

Mais attention à l'abus de langage. L'ordinateur ne fait que renvoyer à l'homme le résultat d'un travail effectué selon des règles imposées par l'homme sur des hypothèses ou des informations proposées par l'homme. A vrai dire, l'ordinateur n'est que l'instrument d'un dialogue de l'homme avec lui-même (ou avec ses semblables quand il s'agit d'un travail d'équipe). Et cette facilité n'est jamais acquise qu'au prix d'une augmentation et d'une complexification des programmes du système d'entrée-sortie. A ce stade de perfectionnement, pour un travail donné, la partie purement mathématique, le calcul proprement dit, ne représente pas 5 % des instructions exécutées par l'ordinateur. Tout le reste correspond à l'activité du système.

DE L'ENREGISTREMENT A LA LECTURE

En comparaison de l'efficacité atteinte pour la présentation des résultats, le système d'entrée semble être en retard. On en est encore à la carte perforée ou au clavier. Certes le clavier de la machine à écrire restera l'un des instruments nécessaires du pseudo-dialogue homme-machine, mais on peut faire plus.

De même que l'ordinateur peut dessiner, il peut aujourd'hui lire un dessin grâce, encore une fois, à l'écran cathodique et à une astuce d'une simplicité désarmante : le « crayon à lumière ». En réalité, ce crayon n'écrit pas et n'émet pas de lumière. C'est une simple cellule photoélectrique équipée d'une optique convenable qui tient dans un tube gros comme un crayon. Si l'on pointe ce crayon sur l'écran cathodique, la cellule photoélectrique émettra un signal si elle est éclairée par le spot, c'est-à-dire si elle est sur un trait ou un point lumineux, autrement il n'y aura pas de signal. Que faire de ce signal ? Et quoi d'autre sinon le retourner à l'ordinateur ? Pour que l'ordinateur puisse lire et enregistrer un dessin que l'on exécuterait avec ce crayon, il faut et il suffit qu'il puisse relever les coordonnées des positions successives du crayon.

Le principe de l'opération est facile à comprendre. Supposons que le spot lumineux parcoure l'écran selon un balayage du genre balayage télévision. L'ordinateur recevra un signal juste quand le spot passera devant le crayon. Imaginons alors un premier compteur qui compte les lignes et un second qui compte les positions dans chaque ligne et qui est remis à zéro au début de chaque ligne. Au moment où le crayon émet son signal, l'ordinateur lit la valeur affichée par chacun des compteurs et l'affaire est faite. C'est tout pour le dispositif.

Mais le programme qui doit exploiter ces informations est d'un autre gabarit. Lorsque l'opérateur déplace son crayon d'un point à un autre, le nombre de coordonnées relevées par l'ordinateur peut être très élevé. Il faut en plus corriger le trait pour éliminer les irrégularités inévitables dans tout dessin à main levée. On va donc faire alterner les phases d'entrée et de sortie. Au fur et à mesure que l'opérateur complète son dessin, il demande à l'ordinateur, en manipulant une clef, de représenter le dessin sur l'écran. Il voit ainsi à quel stade il est arrivé et peut corriger les traits dont il n'est pas satisfait.

Si commode et si perfectionné que puisse paraître à première vue ce système, il n'en contient pas moins un paradoxe : le volume d'informations manipulées par l'ordinateur est énorme ; la complexité des programmes du système est telle que seuls de très gros ordinateurs peuvent en assurer l'exécution. Mais les informations nouvelles n'entrent qu'à la vitesse de la main. Pourtant ce paradoxe ne condamne pas le système. Il permet en effet d'agir à un niveau de synthèse particulièrement intéressant ; chacun sait qu'un

simple coup de crayon sur une épreuve, dans un bureau d'étude, peut remettre en cause une somme de travail considérable et entraîner une chaîne de corrections parfois très longues.

Pour reprendre l'exemple de l'étude d'autoroute qui nous a servi plus haut, imaginons que l'ingénieur des Ponts et Chaussées corrige de quelques coups de crayon sur l'écran l'allure d'un virage. Il faut alors reprendre tous les calculs de terrassements, les profils en long et en travers et finalement chiffrer l'économie ou la dépense correspondante. Si l'ordinateur est muni d'un programme assez complet et bien conçu, tout cela peut se faire en grande partie de manière automatique. Faute de pouvoir utiliser ce système d'entrée des données, on en était réduit à corriger le dessin sur le papier, à relever sur plans les positions et les cotes de points à modifier et la valeur des modifications ; puis, ces nouvelles données devaient être mises en forme et introduites dans l'ordinateur par des moyens plus classiques, des cartes perforées par exemple. Cette procédure demandait des délais très longs devant la rapidité de réaction du système à écran cathodique.

LA LECTURE DE L'ÉCRITURE

Entre la carte perforée et l'écran cathodique, il y a un fossé que l'on a cherché à combler par des dispositifs directs de lecture de l'écriture, car il y aura toujours des données dont l'introduction par écran cathodique sera trop longue, ou trop mal commode, ou même impossible (pour des questions de précision notamment). Or, les données qui doivent être perforées sur cartes sont généralement transmises à l'atelier de perforation sur des bordereaux. Pourquoi ne pas essayer de lire directement ces bordereaux ou les documents de base ? C'est possible et c'est réalisé.

Prenons le problème de la lecture d'un alphabet normalisé. Il est assez facile d'imaginer un système optique qui balaye une page ligne par ligne et caractère par caractère. Chaque caractère de la ligne se trouve tour à tour agrandi et projeté sur une grille de cellules photoélectriques. Les cellules qui restent dans l'ombre sont celles qui restent couvertes par l'image du caractère. L'appareil de lecture introduit alors dans l'ordinateur les coordonnées des cellules correspondant à l'image du caractère.

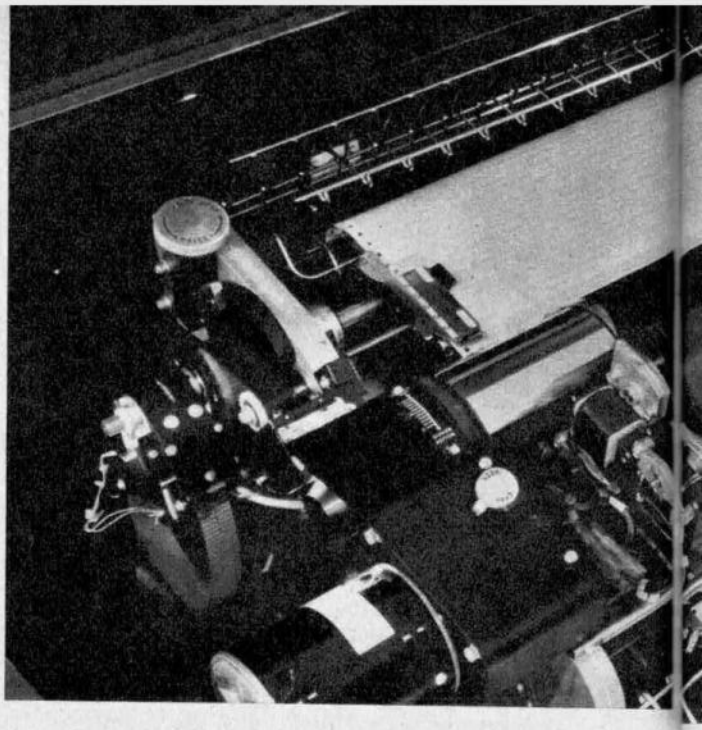
Pour un caractère comme le chiffre 1 représenté par une simple barre verticale, on aura déjà une trentaine, voire une cinquantaine de couples de coordonnées, c'est-à-dire près d'une centaine de nombres et au total pas loin de 200 chiffres. Or, il faut arriver à remplacer ces 200 chiffres par le code unique du chiffre 1 dans le code interne de l'ordinateur. C'est un programme particulier du système d'entrée qui en est chargé ; disons, pour faire court, que ce programme opère une comparaison entre le caractère proposé et la description des modèles qui lui ont été fournis. Cette description est conservée en mémoire, et à chaque modèle est associé le code représentatif du caractère. S'il n'y a pas d'ambiguïté dans l'alphabet utilisé, ce programme pourra identifier chacun des caractères et, finalement, coder automatiquement, dans le langage interne de l'ordinateur, le texte clair proposé.

En réalité, il faut tenir compte des irrégularités de frappe ou d'impression et les opérations exécutées par le programme d'identification ne sont pas de simples comparaisons mais des opérations plus complexes : des corrélations. Vient-on à changer de machine à écrire ? Il est nécessaire alors de fournir un nouveau modèle au programme. Il n'y a là, en principe, aucune difficulté majeure. Mais plus l'alphabet utilisé est orné ou irrégulier, plus le nombre et la variété des caractères sont grands, plus le programme est lent à s'exécuter.

Il est en particulier impossible de lire des manuscrits sur un tel dispositif. La lecture de l'écriture manuscrite courante exige surtout des programmes d'analyse extrêmement complexes, et l'on n'a pas encore aujourd'hui de solution entièrement satisfaisante.

LES ORDINATEURS ONT LA PAROLE

Capables jusqu'à un certain point de voir et de faire voir, les ordinateurs pourraient-ils entendre et parler ? On s'y est employé. Mais attention : le problème n'est pas d'enregistrer quelques mots sur une bande de magnétophone pour les restituer sur un signal de l'ordinateur. Il faut obtenir une traduction automatique des mots prononcés par l'opérateur en informations codées dans le langage interne de l'ordinateur. Si l'on



dit « deux plus trois » à l'ordinateur, il faut qu'il fabrique le code du nombre 2 et le code du nombre 3, puis exécute l'addition. Il obtiendra ainsi le code du nombre 5 et l'on souhaite qu'il réponde « cinq ».

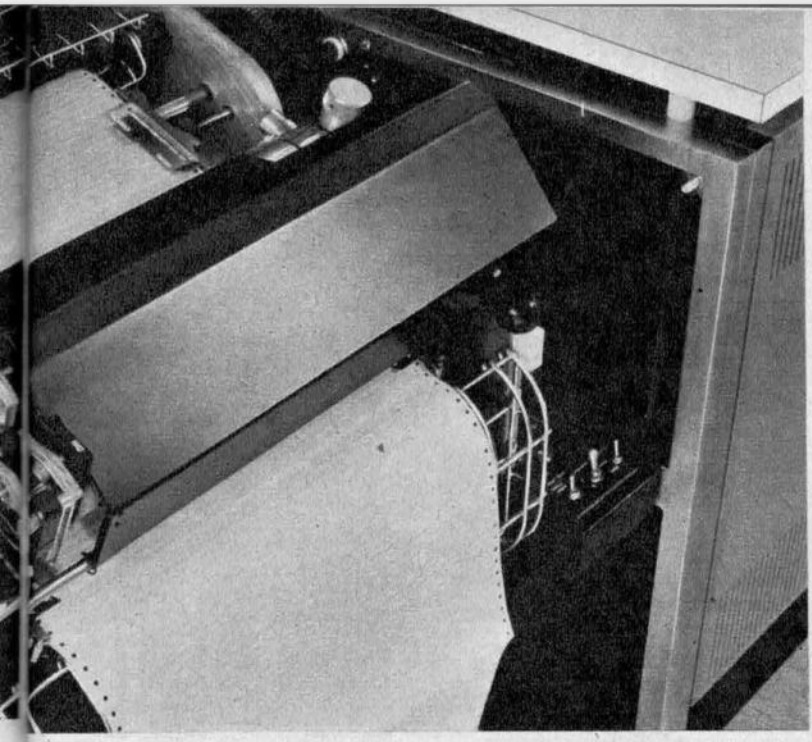
Nous sommes très loin du magnétophone. Commençons par le problème le plus simple : comment passer d'une syllabe articulée, un « phonème », à une expression codée ? Il n'est pas question en effet de travailler uniquement sur l'enregistrement du son. Concevable sur une bande magnétique, un tel enregistrement ne peut pas entrer tel quel dans la mémoire centrale ou dans les circuits de calcul. On pourrait imaginer d'échantillonner le signal modulé, c'est-à-dire de mesurer son amplitude à des instants périodiques extrêmement rapprochés ; la suite de nombres provenant de ces mesures pourrait être enregistrée codée dans l'ordinateur. Malheureusement cette suite serait extrêmement longue et variable d'un essai à l'autre selon la phase de l'échantillonnage, et ce serait l'impasse, car une même syllabe ne donnerait pas deux fois la même suite de nombres. On a donc essayé de tourner la difficulté en usant à la fois des ressources de l'acoustique et des mathématiques.

On procède à une analyse fréquentielle du son, pilotée par le son lui-même. Qu'est-ce à dire ? Chacun sait de manière presque instinctive ce qu'est un son simple. Pour le physicien, c'est une oscillation simple qui se représente mathématiquement par une fonction sinusoïdale du temps. Un son complexe peut être considéré comme un mélange en proportions variables de différents sons simples. Pour caractériser un son simple, deux nombres suffisent : la fréquence et l'intensité (ou mieux l'énergie moyenne). Pour un son complexe, il faut analyser fréquence par fréquence et donner pour chaque fréquence sa valeur et l'énergie moyenne du son de cette fréquence. C'est le principe de l'analyse fréquentielle. Si le son complexe est périodique, on distingue dans l'ensemble des fréquences qui le composent une fréquence minimum qui est la fondamentale ; les autres sont des multiples (ou harmoniques) de la fondamentale. Mais il y a des sons complexes non périodiques ; les proportions des sons de différentes fréquences qui les composent varient avec le temps. C'est le cas des syllabes parlées. Le dispositif utilisé pour analyser de tels sons comprend un certain nombre de filtres qui ne laissent passer, chacun, qu'une bande étroite de fréquence. Derrière chaque filtre, un circuit mesure l'énergie à des instants périodiques pour obtenir une suite de nombres représentant la parole. Une fois l'information mise en nombres l'ordinateur peut en faire ce qu'on veut. Mais on se heurte vite à des problèmes aussi complexes que ceux de la lecture des manuscrits et qui tiennent au timbre et à la hauteur de la voix de chaque expérimentateur. Et, pour le moment, il s'agit uniquement d'identifier des sons et non de comprendre le sens des phrases...

L'opération inverse, qui consiste à faire la synthèse d'un son complexe à partir des nombres qui le représentent, a pu aussi être réalisée. En remplaçant les filtres par des oscillateurs ajustés sur la fréquence correspondante et en réglant automatiquement à chaque instant le niveau sonore de chacun par la mesure de l'énergie, on obtient une synthèse du son qui est très réaliste.

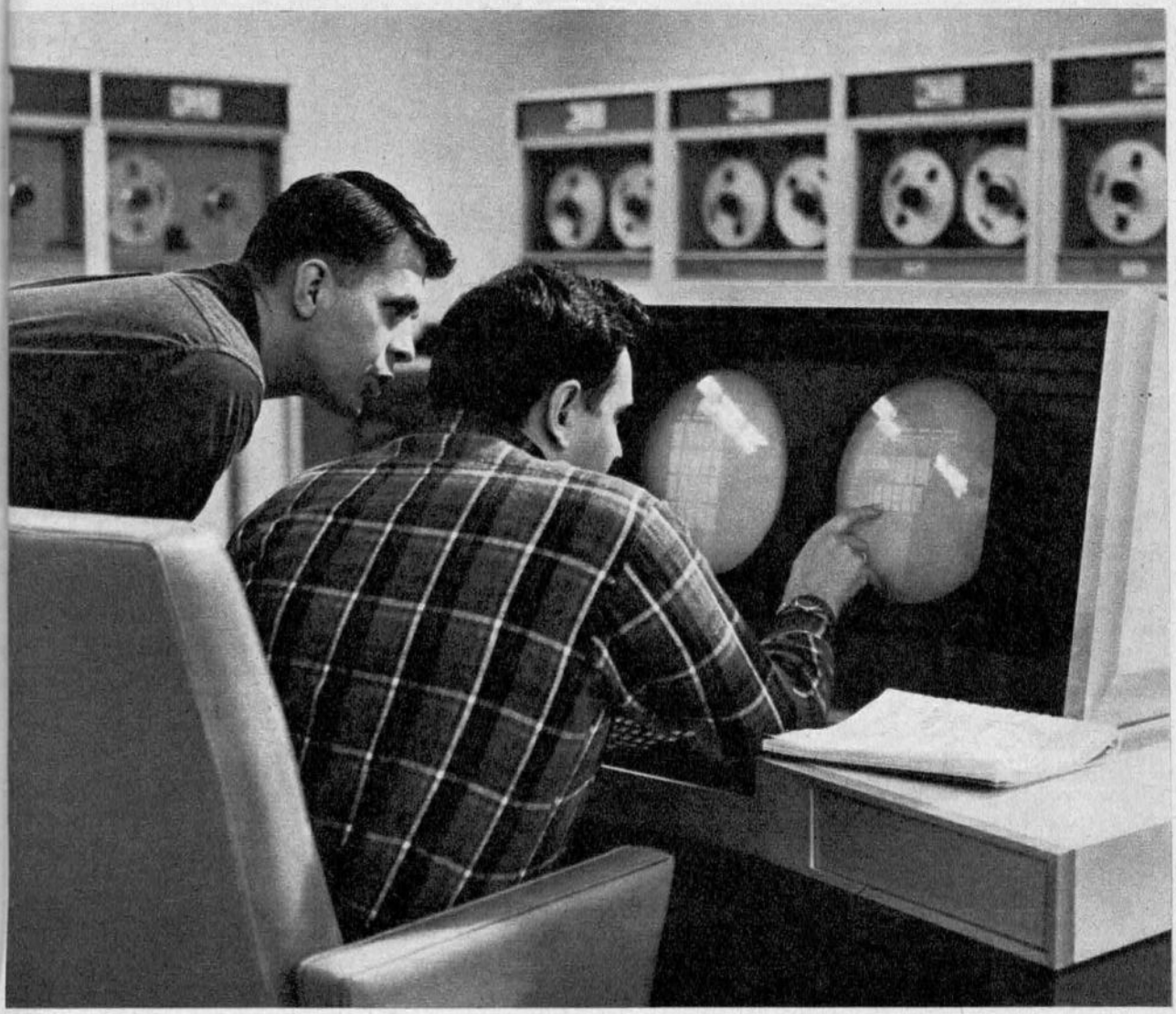
On n'en est pas encore au stade où les ordinateurs obéiront à la voix et composeront de longs discours, mais les recherches et les travaux en cours dans ce domaine progressent régulièrement. Là encore, parler de dialogue avec l'ordinateur est un abus de langage, malgré les apparences. Si complexes que soient les tâches exécutées par la machine, si étonnantes que soient ses réussites, elles ne sont jamais que le reflet de l'activité humaine et le résultat d'un effort prodigieux d'analyse et d'imagination dont tout le mérite et l'initiative reviennent à l'homme.

Jean BOSSET



doc. Honeywell

Les données alphanumériques sont souvent fournies, en sortie, par des imprimantes rapides ou ultrarapides (ci-contre). Dans certains cas, la visualisation directe sur écran cathodique peut être préférable (ci-dessous).



doc. Control Data

L'ORDINATEUR EN TEMPS REEL

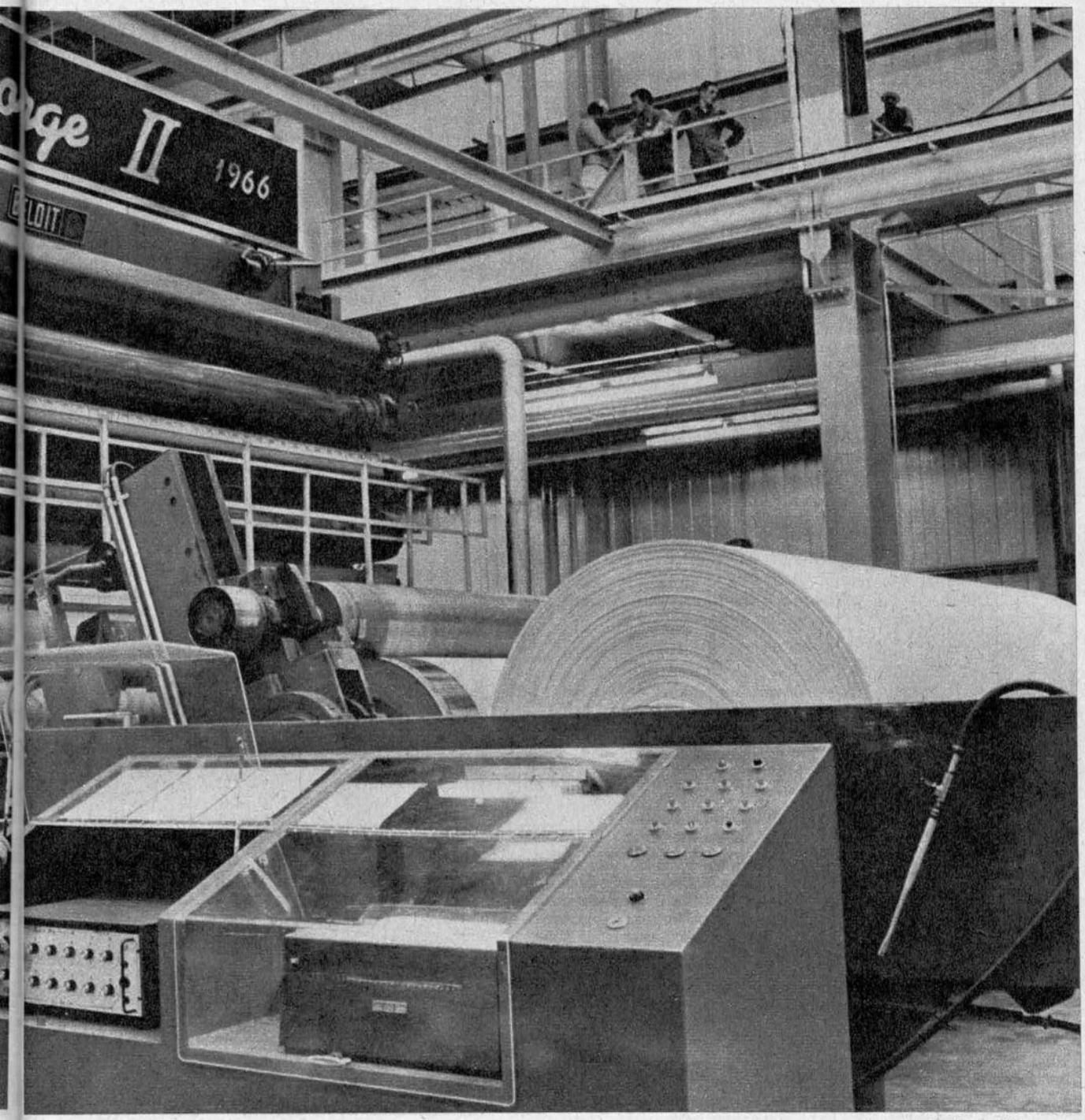
Les calculateurs se rapprochent chaque jour davantage des activités humaines. Il y a quelques années, leur présence ne se manifestait dans la vie du commun des mortels que par l'apparition occasionnelle d'une carte perforée ou d'un texte obtenu sur une imprimante.

Aujourd'hui, en passant commande d'un article ou d'une pièce détachée, au cours d'un examen médical, en réservant une place d'avion, il est fréquent de voir apparaître des claviers, des tubes cathodiques, de petites imprimantes sur le bureau de notre interlocuteur.

Nous demandons, par exemple, une place d'avion de Paris à Ankara pour le 15 juin. Un dialogue semble s'établir entre l'employé et son clavier. En quelques secondes, questions et réponses se succèdent et nous apprenons bientôt qu'une place est disponible dans l'avion de 9 h 30 et que cette place nous est réservée. Plus de longs coups de téléphone entre deux employés, plus de recherches dans des fichiers : un calculateur en « temps réel » que nous ne voyons pas, et qui est peut-être installé à des centaines de kilomètres de l'agence où nous nous trouvons, répond instantanément à notre demande.

Pourquoi calculateur en « temps réel » ?

La notion de temps réel en informatique est liée à la valeur temporelle de l'information, et par conséquent au délai admissible pour que le traitement de cette information aboutisse à une réponse utile. Cer-



Mead Corporation

Cette machine de 130 m de long pour la fabrication du papier à raison de 660 mètres par minute, en rouleaux de 5,30 m de large, est contrôlée par un calculateur IBM 1710. A droite se trouve une imprimante qui fournit au conducteur de la machine les données de base pour les commandes qui sont effectuées à la main sous le contrôle permanent de l'ordinateur.

taines informations, un « top » radar par exemple lorsqu'on suit le lancement d'une fusée, perdent toute valeur pratique après une fraction de seconde et doivent être traitées sur-le-champ. D'autres, comme celles qu'apporte un recensement de population à l'échelle nationale, sont considérées comme valables pendant des mois, sinon des années, et leur traitement en machine n'est assujetti à aucune urgence. Ce sont là des cas extrêmes. Le premier relève incontestablement du temps réel.

Les problèmes généraux de gestion dans les administrations et les entreprises admettent sans inconvénient des temps de réponse de quelques heures, voire d'une journée ou plus encore. Mais on pourra souhaiter obtenir sans délai l'état d'un compte-client, un extrait de fichier de police d'assurances ou les spécifications d'un article particulier en stock, auquel cas il s'agira encore de temps réel pour le traitement de l'information.

Ainsi en est-il de la réservation de places d'avion, pour laquelle le délai de réponse efficace ne peut être prolongé au delà de quelques minutes sans inquiéter et impatienter le client. Nous sommes encore en temps réel.

Pour les problèmes où la réponse doit être pratiquement instantanée, les calculateurs de l'actuelle génération, dans leur course vers le traitement rapide des informations, ont rattrapé en général la vitesse d'évolution des phénomènes qu'ils traitent. Tout se passe comme si les programmes relatifs à un événement extérieur se déroulaient dans le calculateur en même temps que l'événement lui-même se produit.

Les premiers calculateurs en temps réel sont apparus en 1958. Ils ont été réalisés pour des applications militaires mais ont été très vite orientés vers des usages commerciaux. Ces ensembles ont la particularité de recevoir les données d'un problème, de les traiter et d'en fournir immédiatement la réponse, de stocker des quantités très importantes d'informations, d'avoir accès à n'importe quel groupe d'informations en quelques millièmes de seconde, d'échanger en des temps très courts des informations avec un grand nombre de postes éloignés et de donner automatiquement la priorité aux opérations qui exigent un traitement immédiat. Ces qualités réunies ont été fort appréciées dans le monde des affaires qui peut, en particulier, résoudre ainsi ses problèmes de décentralisation.

La gestion commerciale et industrielle qui s'effectue en fonction de données variables telles que fonds de roulement, prévisions de ventes, planning horaire de production, tenue des stocks, contrôles, etc., se trouve améliorée par l'utilisation d'un ensemble qui peut stocker dans ses mémoires de masse toutes les informations utiles et les sélectionner à tout instant pour résoudre les problèmes du moment.

Le calculateur « on line »

Dans de nombreuses applications, le calculateur travaille en liaison directe avec les phénomènes qu'il contrôle. Il élabore ses calculs immédiatement sur les données qu'il

reçoit et transmet aussitôt ses résultats, en temps réel.

C'est le cas du guidage des fusées auquel nous avons fait allusion plus haut. Le rôle des systèmes de calculateurs est là essentiel. Il en est d'indispensables au sol pour effectuer, juste avant le tir et en très peu de temps, les multiples vérifications de bon fonctionnement de tous les organes avec des « capteurs » de mesures placés sur la fusée. Un autre système de calculateurs, toujours au sol, doit suivre la phase initiale de lancement en liaison avec les radars de poursuite qui lui fournissent les éléments pour calculer

Les deux calculateurs Univac 490 à temps réel et les multiples postes d'interrogation-réponse à distance de la salle de réservation des places des British European Airways qui occupe tout un étage, à Londres, de l'immeuble B.E.A. permettant la confirmation immédiate des réservations de quelque cinq millions de passages par an.

plusieurs fois par seconde quel serait le point d'impact de l'engin si le régime des propulseurs venait à baisser ou s'ils s'arrêtaient intempestivement, permettant ainsi de décider à tout moment la destruction éventuelle de la fusée. D'autres calculateurs miniaturisés embarqués assurent le pilotage de l'engin, suivant les programmes préenregistrés correspondant aux phases successives du vol, prenant en charge le contrôle constant de la trajectoire et effectuant au moment voulu les corrections nécessaires grâce à l'observation continuelle de multiples paramètres.

Un autre exemple de travail en temps réel du même genre est celui des systèmes militaires de sécurité installés par plusieurs pays, dans lesquels un certain nombre de calculateurs sont reliés à des radars pour la surveillance permanente de l'espace aérien. Ils suivent les mouvements des appareils repérés, les font apparaître sur des écrans de visualisation, calculent les éléments de leurs trajectoires, définissent éventuellement un programme d'interception des avions ennemis et préparent les consignes pour le tir des engins de défense.

Une organisation du même ordre, à une échelle plus modeste, est celle du contrôle par ordinateur de la circulation automobile dans une grande ville, telle que celle que la municipalité de Toronto a été la première à mettre sur pied pour asservir directement les feux de circulation à l'intensité du trafic. Les flux de véhicules et leur densité sont mesurés en permanence par des capteurs dont les informations quantitatives convergent vers le poste central de commandement des feux. Là un ordinateur traite ces données et arrête à chaque instant la politique la meilleure à suivre, cela en temps réel, en quelques fractions de seconde.

Calculateurs et processus industriels

De nombreux processus industriels font appel à des calculateurs « on line ». Dans une raffinerie de pétrole, par exemple, des centaines d'appareils de mesure informent la machine centrale qui, suivant les milliers d'instructions dont elle a été pourvue quant à sa manière de réagir aux lectures combinées des appareils, calcule instantanément les corrections à apporter aux débits, aux allures de chauffe, aux pressions, etc. Parfois le calculateur élabore seulement des consignes qui seront exécutées manuellement ; plus souvent, dans les installations élaborées et automatisées, il commande directement les divers points de réglage. Ainsi en est-il dans les industries chimiques, en métallurgie (pour la commande des laminoirs en particulier), dans les cimenteries, verreries, papeteries, dans les centres de dispatching d'énergie électrique, dans les centrales nucléaires, etc. Comme les informations à traiter sont en général des grandeurs physiques continues transmises par des enregistreurs de température, de pression, d'humidité, etc., un convertisseur transforme ces données « analogiques » en données « digitales », c'est-à-dire numériques, pour traitement. Très fréquemment, en outre, c'est par comparaison des résultats, traduits par un ensemble de mesures, avec les objectifs prévus que s'élaborent les nouveaux ordres. Les instruments de mesure sont balayés à intervalles de temps fixes déterminés par une horloge, appelés périodes d'échantillonnage, et cette technique de fonctionnement qui asservit un processus à un calculateur est souvent appelé « asservissement échantillonné ».

La fiabilité du matériel, c'est-à-dire sa sécurité de fonctionnement, est d'une extrême importance dans de telles applications. Aussi est-on amené souvent à doubler ou tripler certains éléments, en particulier au niveau des unités centrales, pour prévenir tout risque de défaillance.

Les ordinateurs de gestion

L'utilisation en temps réel des ordinateurs destinés aux travaux de gestion des entreprises et à des tâches apparentées est essentiellement le fait de ce que l'on appelle les machines de la « troisième génération », que caractérisent à la fois leur vitesse de calcul et leur capacité de mémoire. L'avènement du temps réel a constitué un tournant capital dans l'évolution de ces machines en leur permettant de traiter immédiatement une information particulière, dès qu'elle se présente, de répartir son temps rationnellement et économiquement entre des usages multiples et même de traiter simultanément plusieurs problèmes. Le temp réel trouve actuellement son application la plus élaborée dans la technique du « temps partagé » qui fait l'objet du chapitre suivant.

Les exploitations séquentielles

Dans les débuts de l'exploitation des calculateurs, ceux de la « première génération », chaque usager utilisait la machine à tour de rôle, chargeant lui-même ses programmes, surveillant leur mise au point et leur exécution et assistant à la sortie des résultats. Il pouvait, grâce aux touches de

Doc. C.I.I. Ph. Jacques Pierre

Le calculateur C-90-80 pour calculs scientifiques et applications en temps réel : automatisme industriel, simulation d'essais en vol, commutation de messages, etc.

son pupitre, visualiser quand il voulait le contenu des mémoires et des registres, modifier des instructions, bref dialoguer en quelque sorte avec la machine. C'est ce qu'on appelle le mode séquentiel direct.

On conçoit aisément qu'une telle exploitation était économiquement désastreuse. D'abord parce que les divers éléments de la machine avaient un pourcentage d'utilisation très mauvais, surtout le plus coûteux de ces éléments, l'unité centrale de calcul. Ensuite à cause des temps morts au passage d'un travail à un autre. On pouvait bien remédier dans une certaine mesure au premier de ces inconvénients, dans le cas des problèmes répétitifs, en réalisant, pour gagner du temps, une certaine simultanéité dans les opérations de calcul d'une part, d'entrée des données et de sortie des résultats d'autre part. Il était anormal, en effet, d'immobiliser un complexe électronique aussi élaboré qu'une unité centrale fonctionnant à très grande vitesse, pendant que les systèmes plus simples d'entrée-sortie transféraient les informations à vitesse beaucoup plus réduite. En assurant judicieusement le chevauchement des temps de fonctionnement de l'unité centrale et des entrées-sorties (en utilisant en fait des mémoires auxiliaires pour ces entrées-sorties), opération d'ailleurs assez délicate à réaliser à l'époque, on améliorait nettement le rendement global. Mais les temps morts subsistaient aux changements de travaux et de programmes.

A ce mode d'exploitation en accès séquentiel direct a succédé le mode séquentiel indirect où les travaux successifs sont enchaînés automatiquement par un organe appelé « moniteur » ou « superviseur », ce qui fait disparaître les temps morts. De plus, dans ces machines de la « deuxième génération », la simultanéité pour les opérations d'entrée-sortie était assurée automatiquement par un système d'interruptions sur lequel nous reviendrons. Malheureusement, avec ce mode indirect d'exploitation par « trains de travaux », l'usager ne peut plus dialoguer avec la machine ; il doit attendre la fin d'un train pour avoir ses résultats et, s'il veut corriger une erreur dans son programme, il doit attendre le train suivant.

Systèmes en temps réel

La technique du temps réel ramène à une forme perfectionnée d'accès direct qui restaure le dialogue. Le calculateur central peut être alors connecté à des lignes de transmission qui aboutissent à des matériels locaux, appelés « terminaux », pupitres de machines à écrire, par exemple, qui servent à l'introduction des informations par les utilisateurs et où viennent s'inscrire à bref délai les résultats. Dans une telle exploitation en temps partagé, c'est le système lui-même qui répartit son temps entre les divers utilisateurs, et cela avec une cadence de passage de l'un à l'autre assez élevée pour que chacun ait l'impression, à tout mo-

ment, que l'ordinateur travaille pour lui seul. Cette impression n'est en fait vraie qu'à l'échelle humaine de déroulement du temps; la simultanéité n'est qu'apparente car, à un instant donné, un calculateur ne travaille que pour une seule personne, sauf le cas encore peu répandu de multitraitement à plusieurs processus où plusieurs programmes se déroulent simultanément dans plusieurs unités centrales convenablement disposées.

Les caractéristiques fondamentales des systèmes fonctionnant en temps réel sont :

— une réponse très rapide à une entrée extérieure ;

— l'utilisation de mémoires de masse en accès direct ;

— la possibilité de gérer des interruptions de programme ;

— la possibilité de gérer plusieurs périphériques en même temps ;

— la possibilité de dialoguer avec de nombreux postes éloignés.

Grâce à la possibilité d'accès rapide à des enregistrements volumineux dans des mémoires à accès aléatoire (mémoires sur tambours, sur disques, etc.), l'utilisateur individuel, d'une part, n'a pas à attendre trop longtemps la réponse à ses questions, et le système lui-même, d'autre part, peut exécuter un plus grand travail utile par unité de temps sur la base des demandes directes.

L'utilisation simultanée de plusieurs périphériques, en particulier ceux connectés aux terminaux, permet à l'ordinateur d'accepter des données avec une vitesse assez grande et un débit assez régulier pour rester de façon permanente en fonctionnement.

Le rapport performances-prix d'un système en temps réel découle des possibilités du calculateur dans les cinq domaines énumérés ci-dessus. En particulier, une gestion élaborée des interruptions permet à un grand nombre d'équipements de communiquer en même temps avec le calculateur, ce qui rend son utilisation plus efficace et plus rentable.

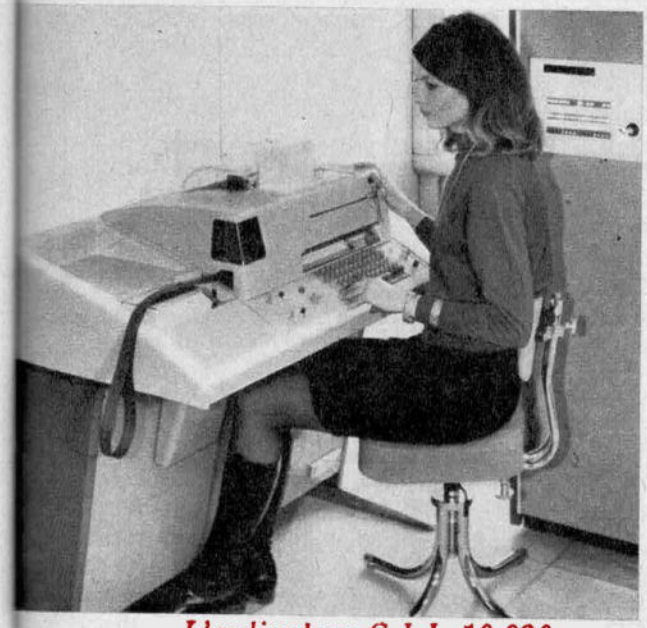
Les « interruptions »

Revenons pour un instant à l'exploitation d'un ordinateur en accès séquentiel indirect, par « trains de travaux ». Nous avons dit qu'un système d'interruptions assurait automatiquement la simultanéité pour les opérations d'entrée-sortie et celles de calcul. Cette simultanéité n'est bien entendu, là encore, qu'apparente, tout se faisant en réalité successivement et à très grande vitesse. Le système réalise en effet l'indépendance complète entre les entrées-sorties et les opérations de l'unité centrale de calcul, ce que justifie les différences de cadence de fonctionnement de ces deux sortes d'éléments, que nous avons déjà évoquées, celle de l'unité centrale étant par exemple un million de fois plus rapide que la lecture d'une carte perforée. On ne peut laisser les éléments d'entrée-sortie communiquer directement avec la mémoire centrale par laquelle passent obligatoirement toutes les informations. La solution consiste à utiliser un registre-tampon de capacité toujours faible, réduite parfois à un seul mot-mémoire, par exemple, qui est rempli par l'élément d'entrée ou vidé par l'élément de sortie pendant que l'unité centrale travaille, et à rendre automatiques les transferts entre ce registre-tampon et la mémoire centrale. Au moment venu pour un transfert, lorsque le registre-tampon est prêt, une « interruption » interne a lieu dans l'unité centrale, suspendant un bref instant le programme en cours de traitement pour effectuer ce transfert en priorité, après quoi le programme suspendu reprend son cours normal.

L'interruption se présente ainsi comme un sous-programme dont le branchement s'effectue automatiquement par câblage et qui vient s'intercaler dans le déroulement normal d'un programme : l'unité centrale termine l'instruction élémentaire en cours, note l'adresse de l'instruction suivante dans une mémoire spéciale et sauvegarde le contenu de ses registres qui seront restaurés à la fin du sous-programme. Lorsqu'une interruption est en cours de traitement, tout le système d'interruption est mis en attente (« verrouillage ») jusqu'à ce que le calculateur soit de nouveau prêt à traiter une autre interruption.

La multiprogrammation

On remarquera que, dans le mode d'exploitation séquentiel indirect, il y a à la fois en mémoire centrale deux programmes principaux : le programme en cours de traitement et le programme moniteur qui assure la succession des travaux. Rien n'empêche d'y loger plusieurs programmes de traitement, le contrôle passant de l'un à l'autre à l'occasion d'une opération d'entrée-sortie suivant la disponibilité des canaux et l'état d'avancement des calculs en unité centrale des programmes respectifs. Cette méthode d'exploitation, appelée *multiprogrammation* (à ne pas confondre avec le *multitraitement* qui est le traitement simultané de plusieurs programmes par un système à plusieurs unités de calcul, alors qu'ici il s'agit de traitements fractionnés successifs), assure l'optimisation des interruptions et améliore grandement le rendement de l'unité centrale.



L'ordinateur C.I.I. 10 020 à circuits intégrés monolithiques et son pupitre de commande.

On voit, dans ces conditions, que les opérations d'entrée-sortie constituent des interruptions provoquant l'intervention du système moniteur qui gère les programmes, passant le contrôle suivant les circonstances à l'un ou à l'autre pour garder l'unité centrale en activité. S'il arrive qu'à un instant donné tous les programmes présents en mémoire centrale aient demandé l'utilisation de canaux d'entrée-sortie, le moniteur appellera en mémoire centrale d'autres programmes à la place des précédents, quitte à rappeler ceux-ci lorsque les opérations d'entrée-sortie seront terminées. L'enchaînement des travaux et la tenue des listes d'attente devient alors complexe, mais le rendement de l'unité centrale et de sa mémoire, les parties les plus coûteuses du système, s'en trouve amélioré, car elles ne restent qu'exceptionnellement inactives.

Certains programmes peuvent être utilisables pour plusieurs travaux différents (par exemple les programmes des compilateurs). Certaines parties de programmes ou sous-programmes peuvent l'être aussi. Plutôt que de les récrire pour chaque travail, on peut rendre ces sous-programmes communs à plusieurs travaux. On dit qu'il s'agit alors de programmes ou sous-programmes « réentrants ».

Enfin, il faut encore remarquer que la présence simultanée de plusieurs programmes en mémoire centrale entraîne des risques de destruction mutuelle. Il faut prévoir des dispositifs de « protection-mémoire ».

L'accès direct à distance

La multiprogrammation telle que nous venons d'en donner une idée succincte n'implique toujours pas l'accès direct. Comme dans la formule séquentielle, les utilisateurs reçoivent leurs résultats en même temps, plus rapidement cependant, les possibilités de la machine étant mieux utilisées.

Certains systèmes combinent cette multiprogrammation avec l'accès direct à partir d'un réseau de terminaux. L'exploitation dominante reste l'exploitation par « fournées » (les Anglo-Saxons disent : *batch processing*), les travaux étant chargés à heure fixe et exécutés en multiprogrammation. Mais, de plus, un certain nombre d'utilisateurs, le plus souvent à distance, peuvent accéder directement à la machine, lui envoyant leurs programmes qui sont chargés sur disques en attente d'exécution, avec priorité sur les travaux chargés en fournées. Les résultats sont envoyés à l'utilisateur dès que son programme est terminé, dans un délai assez bref pour qu'on puisse déjà parler de temps réel. Plusieurs usagers peuvent effectivement être servis presque simultanément. Mais on ne peut guère parler encore de dialogue avec la machine.

Il ne s'agit pas non plus de dialogue à proprement parler dans le mode d'exploitation dit « *question-réponse* ». Tandis que l'ordinateur effectue en permanence un travail de base classique, par fournées avec multiprogrammation par exemple, quelques utilisateurs, à des pupitres souvent très éloignés, posent directement des questions à la machine suivant un code précisé à l'avance. Un plus ou moins grand nombre de questions sont prévues, ainsi que les programmes correspondants destinés à élaborer les réponses, programmes tenus en réserve dans les mémoires du système, en général des mémoires à disques qui constituent une bibliothèque de programmes. L'arrivée d'un message est prioritaire et interrompt le travail de fond de l'ordinateur. Si le programme appelé se trouve déjà en mémoire centrale, il est traité immédiatement. Sinon, le moniteur de l'unité centrale met en marche le programme de recherche dans les mémoires secondaires et reprend le travail en cours ; il l'interrompt de nouveau lorsque le transfert est prêt pour charger et traiter le programme demandé. La réponse est transmise aussitôt au terminal. La souplesse du système dépend du nombre de questions prévues et il arrive que, compte tenu de la fréquence des appels et des priorités affectées aux uns ou aux autres, sa complexité soit très

grande. Des questions et des réponses successives peuvent constituer une sorte de dialogue, mais toujours très limité et ne sortant pas du cadre prévu. Ce système convient bien à certaines applications, telles que les réservations de places, la consultation de comptes bancaires ou celle de cotations de valeurs en bourse.

Le dialogue « homme-machine »

Les systèmes élaborés en temps réel, permettant le dialogue véritable, combinent ces techniques avec de nombreuses variantes et des possibilités diverses. Ils répondent aux caractéristiques énoncées précédemment.

On trouve dans un tel système, connecté par un réseau de télécommunications avec les terminaux des utilisateurs, un programme exécutif en unité centrale travaillant en multiprogrammation, gérant les interruptions tant internes qu'externes et dirigeant les canaux d'entrée ou de sortie vers les zones de la mémoire centrale qu'il est possible d'attribuer aux différentes demandes.

On peut trouver en pratique jusqu'à plusieurs centaines d'éléments périphériques travaillant avec une seule unité centrale. Le nombre de ces périphériques pouvant être pris en compte simultanément dépend de la vitesse avec laquelle le calculateur peut traiter les interruptions, et le sous-programme de traitement doit donc être aussi court que possible. Il y aura des moments creux quant à l'apparition des interruptions externes, mais il pourra se faire qu'un nombre très important d'interruptions arrivent pratiquement au même instant ; le calculateur doit pouvoir répondre en désignant à chacune une zone-tampon convenable en mémoire centrale, et cela assez rapidement pour qu'il n'y ait pas perte de caractères aussi bien à l'entrée qu'à la sortie. Si plusieurs centaines de transmetteurs sont simultanément en opération, le calculateur ne peut attribuer à chacun d'eux une zone de mémoire importante, et il faut faire appel à des mémoires secondaires rapides, constituées le plus souvent par des tambours magnétiques tournant à grande vitesse ou par des disques, d'où les commandes seront extraites dès que la place en mémoire centrale sera devenue disponible.

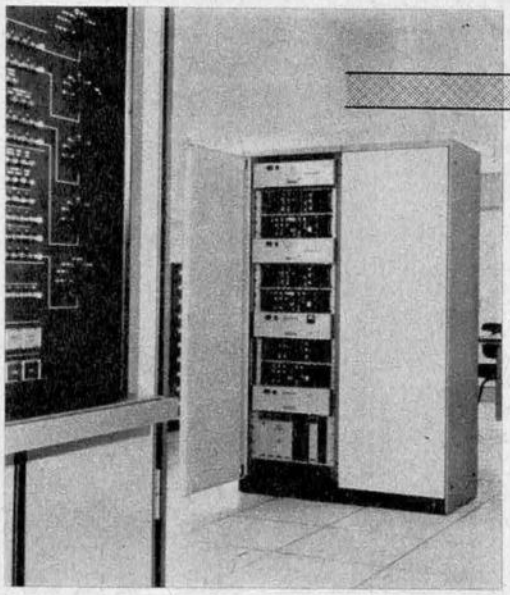
On voit qu'il faut alors que le programme exécutif gère une « file d'attente » en attribuant à chaque travail un ordre de priorité en fonction de la nature des équipements périphériques qui le sollicitent et aussi de celle même du travail, en modifiant éventuellement les priorités en cours de traitement, s'il est besoin. A un instant donné, un seul des programmes a le contrôle de la machine, d'autres étant présents en mémoire centrale pour le traitement en multiprogrammation, d'autres enfin, moins urgents, demeurant en instance dans une mémoire secondaire. Il peut arriver qu'à un instant donné tous les programmes en mémoire centrale se trouvent bloqués par indisponibilité des éléments d'entrée ou de sortie qui leur sont affectés, et il est alors nécessaire d'effectuer une opération d'échange entre mémoire centrale et mémoire d'instance (en jargon d'informatique, il s'agit d'un « swapping ») ; cet échange doit être rapide et la mémoire d'instance est toujours un tambour.

A côté de ces mémoires à très faible temps d'accès, un système en temps réel comporte des mémoires, dites mémoires de masse, de très grande capacité, également à accès aléatoire mais plus lentes, où sont stockées les données et la bibliothèque des programmes moins fréquemment utilisés. Elles sont en général constituées par des tambours, des piles de disques ou d'autres types de mémoire de masse. La bande magnétique, qui est d'un accès non sélectif, n'est utilisée qu'en tant que mémoire d'archives, pour conserver les copies des fichiers.

La plupart des systèmes en temps réel actuellement en fonctionnement se limitent à l'exécution de travaux dont les programmes ont été déjà écrits conformément à leurs données propres. Les utilisateurs ont cependant un choix étendu car la bibliothèque des programmes disponibles est très largement fournie. Les études actuelles conduisent à la mise en œuvre de techniques qui rendent possible l'utilisation de l'accès direct non seulement pour fournir des données à traiter à partir de points éloignés, mais aussi de nouveaux programmes que l'ordinateur central exécutera pas à pas et dont il retournera instantanément les résultats aux demandeurs. Ainsi se trouvera considérablement accrue la souplesse du système.

Le plus souvent, le terminal n'est encore qu'une simple machine à écrire. Rien n'empêche qu'il comporte aussi un lecteur de cartes ou de rubans pour l'émission, un perforateur voire une imprimante pour la réception des résultats copieux. Parfois il permet déjà des réponses vocales. Il pourrait aussi bien posséder un traceur de courbes, une console de visualisation sur écran cathodique avec éventuellement un dispositif d'entrée graphique par « stylet lumineux ». La technique du temps réel se prête à tous les développements, posant certes des problèmes de programmation complexes mais dont la difficulté compte peu en face des avantages que l'on peut en attendre.

Louis-Noël JOLY



TRT

TRAITEMENT

ET TRANSMISSION

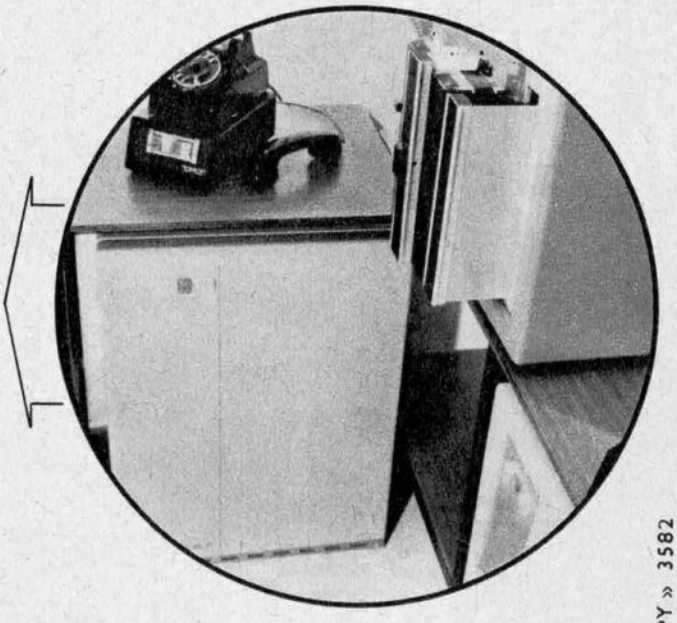
DE L'INFORMATION

TELEINFORMATION

TELETRAITEMENT

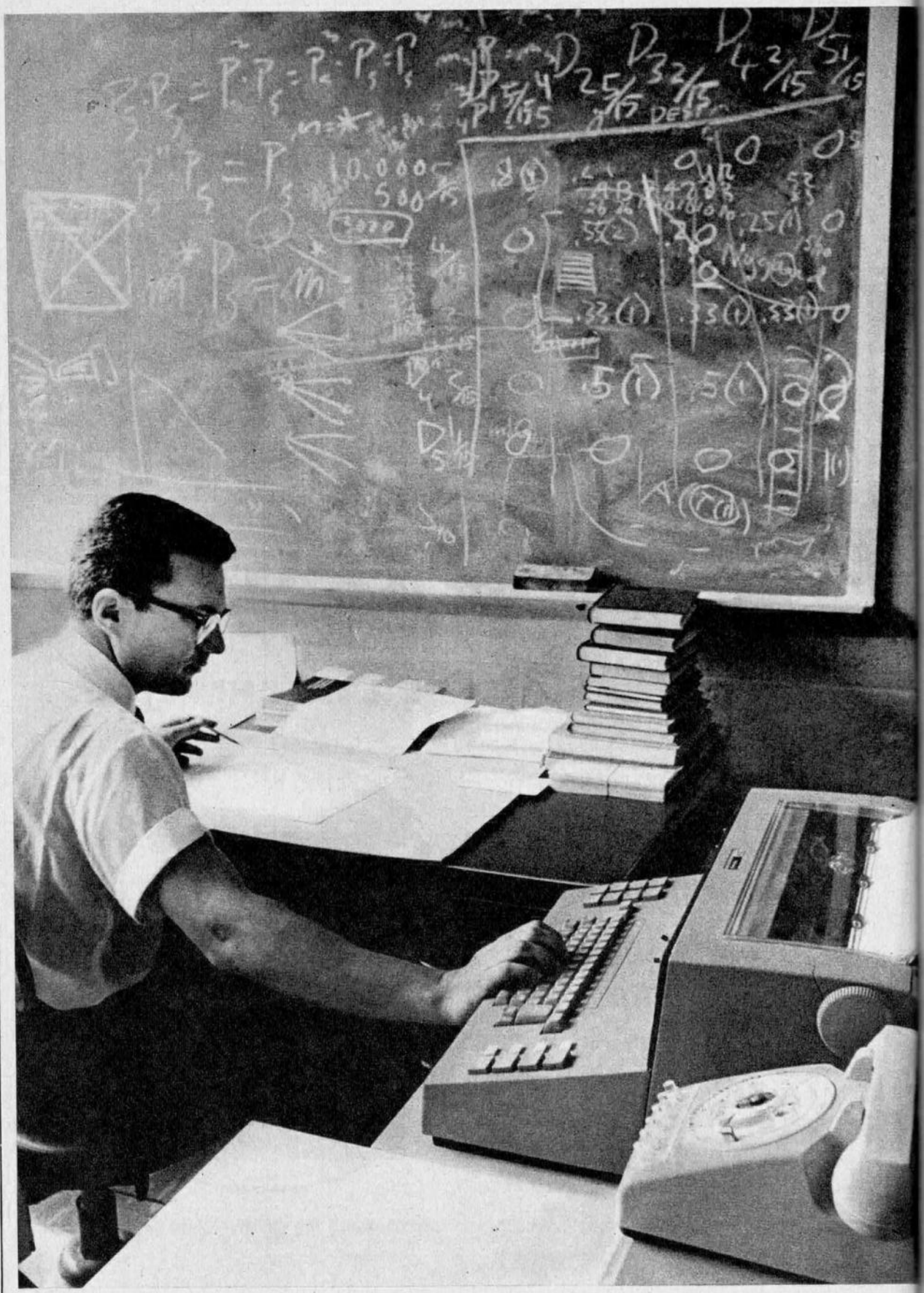
TELEGESTION

VISUALISATION



TELECOMMUNICATIONS RADIOELECTRIQUES ET TELEPHONIQUES
Services Commerciaux : 88, rue Brillat-Savarin PARIS 13 - Tél. : 707-7779

« RAPY » 3582



LE TEMPS PARTAGÉ

En 1962, lors d'un Congrès international de l'Informatique tenu à Munich, quelques discussions furent axées sur le « *Time-Sharing* ». Manifestement, à l'époque, rares étaient ceux qui avaient quelque idée de ce que cela signifiait. Des Américains échangèrent des arguments enthousiastes que l'assistance accueillit avec sérénité. On considérait alors qu'une machine à écrire connectée directement à un calculateur était déjà un gadget coûteux, d'usage limité, et même économiquement néfaste. Connecter des dizaines de machines à écrire ne pouvait être qu'une de ces aimables anticipations que seuls peuvent se permettre des laboratoires disposant d'une richesse de moyens rendant excusables de telles entorses à une attitude raisonnable.

New York, 1965 : accès direct, temps partagé (traduction française de « time-sharing »), manipulations d'images, temps réel,... Cet autre Congrès international submergeait de termes nouveaux une assistance avide de connaître ces applications révolutionnaires, talonnées déjà d'ailleurs par de plus ambitieux projets. On pouvait se « faire la main » sur des « consoles » reliées à des calculateurs distants de centaines ou de milliers de kilomètres.

Au Massachusetts Institute of Technology, un chercheur, sans quitter sa table de travail, appelle l'aide d'un puissant calculateur central pour la résolution d'équations complexes. A l'origine, ce système partageait le temps d'un ordinateur IBM 7090 entre 30 tels terminaux à distance, desservis virtuellement simultanément. Ce nombre devait être porté à 200 avec un ordinateur 360.

Depuis 1965, les réalisations se sont multipliées. Pratiquement tous les projets importants comprennent actuellement des « terminaux » permettant l'accès individuel aux calculateurs. La multiplicité des organisations et le caractère évolutif des installations rend assez difficile l'évaluation du nombre actuel d'usagers de tels systèmes. Il existe aux Etats-Unis plus d'une centaine de centres de calcul offrant des services en temps partagé. Sachant que le nombre d'abonnés se situe le plus souvent entre une dizaine et une centaine, et qu'un abonnement, correspondant à la location d'un terminal, est en réalité utilisé par plusieurs personnes, il n'est pas exagéré d'estimer à plusieurs milliers le nombre des utilisateurs.

La littérature technique publiée sur ce sujet représente un volume considérable, et dans les milieux spécialisés, c'est faire figure d'attardé que de discourir sur les avantages du temps partagé. Il est même de bon ton d'insister sur ses limitations ou ses excès, comme cela se produit couramment pour les techniques dont le droit de cité n'est plus contesté.

En quoi consiste donc cette technique de temps partagé ? Tout simplement à permettre l'utilisation d'un calculateur par plusieurs personnes à la fois. Quoi d'original, pourraient penser ceux qui sont peu familiarisés avec l'emploi des calculateurs ? N'est-ce pas tout naturel, de même qu'un central téléphonique répond à des milliers d'appels simultanés ? C'est précisément parce qu'il devenait insupportable d'exploiter les calculateurs de manière « anti-naturelle » que des pionniers se sont attaqués au problème de les faire fonctionner comme un

« central de calcul », prêt à répondre à toute personne qui « décroche l'ordinateur ».

Sans entrer dans des développements qui s'écarteraient trop de l'objet de cet article, il est probablement utile de présenter un raccourci des modes d'utilisation traditionnels des calculateurs. Ceci permettra, par contraste, de mieux faire apparaître ce que le temps partagé apporte d'original.

Le travail en série

Il n'y a pas si longtemps, avant 1960, il fallait l'intervention manuelle d'un opérateur pour lancer le calculateur sur *un seul travail*. Les opérations comprenaient le montage de bandes magnétiques, le positionnement de certains commutateurs, la lecture de cartes perforées, souvent en quantités importantes. Le travail consistait habituellement en une série répétitive de traitements similaires dont toutes les variations possibles avaient été prévues dans le programme particulier introduit dans la machine. Ainsi s'exécutaient calculs de paie, gestion de stocks, calculs scientifiques, dépouillements statistiques, etc. Le passage d'un travail à un autre s'accompagnait toujours d'un temps mort préjudiciable au bon rendement de la machine. C'est pourquoi l'on décourageait les « mauvais utilisateurs », ceux qui consommaient peu de temps d'exécution par comparaison avec le temps de préparation de la machine. On retrouve ce même réflexe de réticence vis-à-vis des « petites séries » dans les ateliers équipés de puissantes machines-outils. L'ordinateur était donc principalement réservé à la production massive de travaux répétitifs. C'est en fait le mode d'utilisation que l'on rencontre encore le plus fréquemment sur les machines moyennes.

Cette situation a commencé d'évoluer avec la diffusion des calculateurs rapides. Les centres de recherches, grandes entreprises, centres de calcul, devaient débiter un nombre de travaux d'autant plus élevé que les machines travaillaient plus vite, et que leur clientèle se personnalisait. En effet, le nombre de travaux de masse n'augmentait guère, alors que les ingénieurs, chercheurs ou programmeurs n'avaient le plus souvent que des essais à effectuer, soit pour bien mettre au point leur idée ou leur programme, soit pour tester seulement des cas particuliers d'un problème afin de vérifier la validité d'une solution sur quelques échantillons de valeurs. Ces grands calculateurs débitaient donc le plus souvent des travaux de courte durée, et ne pouvaient pas être utilisés de façon rentable sur le même style que leurs prédécesseurs.

Le passage d'un travail à un autre devait alors devenir automatique. Au lieu de faire appel à un opérateur humain, toutes les indications de mise en condition du calculateur sont lues sur des cartes perforées. Seules les bandes magnétiques correspondant à chaque travail exigent encore des manipulations coûteuses en temps. On réduit cet inconvénient en utilisant un nombre plus élevé de dérouleurs, ce qui permet de monter les bandes à l'avance, pendant l'exécution des travaux précédents. Il peut y avoir besoin de bandes pour enregistrer des résultats intermédiaires, mais il suffit qu'un certain nombre de ces bandes *brouillon* soient prévues en permanence pour les besoins en cours de travail. Au prix de certaines contraintes de préparation des travaux, et d'un nombre confortable de dérouleurs de bandes, le calculateur peut produire des travaux avec un faible taux de temps mort.

L'enchaînement automatique des travaux n'est pas une caractéristique des circuits, et il va de soi que l'on n'impose pas à un usager de programmer le passage au suivant ; ceci est réalisé par des programmes indépendants des usagers, et que l'on qualifie de système superviseur, exécutif, moniteur, et d'autres noms encore, selon les goûts du constructeur ou du programmeur. Ces programmes se trouvent en permanence dans les mémoires de la machine. Des perfectionnements multiples sont venus par la suite, permettant de réaliser beaucoup plus de fonctions qu'il n'était possible d'en exiger d'un opérateur : surveillance des travaux en cours d'exécution, limites de temps imposées, comptabilité de l'utilisation des différentes parties de la machine, règles de la priorité de certains travaux sur d'autres, mise en place simultanée de plusieurs travaux dans la machine, utilisation intensive de mémoires à disques au lieu de bandes magnétiques, etc.

Éviter le divorce homme-machine

Ces modes d'utilisation ont fait leurs preuves de bons outils de production pour débiter les travaux à la chaîne. Ils n'ont cependant pas fait tomber les barrières entre l'utilisateur et la machine.

Il y a tout d'abord la barrière technique due à la complexité indéniable de ces systèmes, qui exige de l'utilisateur moyen une délicate préparation des ordres qu'il veut faire exécuter ; en cas d'erreur de prépara-

tion, le comportement de la machine est souvent difficile à interpréter sans l'aide d'un spécialiste.

Il y a ensuite la barrière administrative, souvent plus subjective que réelle, mais cible favorite des insatisfactions ; un centre de calcul apparaît généralement comme un monde fermé, avec ses lois et son jargon d'initiés ; il faut se plier à des formalités obscures, subir des incidents matériels irritants (retards, travail égaré) et, à l'occasion, se voir refuser un travail sous des prétextes divers.

Enfin, les délais de retour d'un travail exécuté sur machine vont le plus souvent d'une heure à plusieurs heures ; compte-tenu du temps supplémentaire que représente l'allée et retour entre le centre de calcul et le lieu de travail des usagers, il n'est guère possible de faire exécuter un programme plus d'une fois ou deux fois par jour en moyenne.

Ce délai est sans importance pour des travaux planifiés, tels que les traitements de gestion, mais, pour un programmeur ou un ingénieur, cela représente une discontinuité d'activité nuisible au rendement. C'est en effet au moment où l'on vient de préparer l'exécution d'un programme que l'esprit est le mieux apte à en examiner le résultat. Une attente de plusieurs heures oblige à entreprendre une autre activité, puis à s'interrompre à nouveau pour rassembler ses idées.

Les programmes de cette catégorie d'utilisateurs ne sont pas en effet des objets immuables produisant sans surprise une certaine masse de résultats (comme un programme de paie par exemple). Au contraire, ces programmes matérialisent une certaine étape de la réflexion du chercheur, qu'il faut tester avant de poursuivre. Ainsi un ingénieur envisage d'utiliser une certaine forme de pièce mécanique dans un moteur. Il lui faut fixer des dimensions exactes, choisir une variété de métal, calculer la résistance aux vibrations, torsions, tractions, les dilatations possibles, etc. Si certaines valeurs sont insuffisantes, il essaiera de changer quelques données initiales, intuitivement sans doute ; et quand finalement tout est satisfaisant, il peut se demander s'il n'a pas pris trop de marge, avec une pièce trop lourde, ou d'un métal difficile à usiner. L'idéal serait donc de recevoir immédiatement les résultats afin de tenter de nouveaux essais autant de fois qu'il est nécessaire pour atteindre un compromis assez équilibré. Au diable donc le centre de calcul, avec ses délais ridicules ! Et pour ne pas perdre du temps, il choisit une forme de pièce dont il a l'habitude. Mais si le recours au calculateur est indispensable, le voilà tiraillé entre plusieurs travaux traités par bribes, de façon décousue et interminable.

C'est pour satisfaire cette catégorie d'usagers qu'ont été conçus les *calculateurs de bureau*. Comme leur nom l'indique, ils peuvent être installés sur place. Leur emploi est simple, car ils sont étudiés pour la commodité de l'usager plutôt que pour le rendement de la machine. Il est loisible de tâtonner, de modifier ce que l'on avait commencé d'exécuter : le calculateur conserve en permanence dans ses mémoires une collection de programmes courants pour répondre impromptu à des demandes de l'utilisateur, comme tracer une courbe, rechercher les solutions d'une série d'équations, modifier un programme en cours d'exécution, et repartir d'un endroit souhaité. Cette solution serait donc idéale, s'il n'était tout de même trop coûteux de prévoir un calculateur par bureau et si la vitesse et la capacité de mémoire d'une telle machine ne restaient sensiblement plus réduites que celle des grands calculateurs. Pour donner satisfaction, il faut que le nombre d'usagers soit assez faible pour éviter de trop longues attentes ; ensuite, que les problèmes à traiter restent à l'échelle de la machine, c'est-à-dire petits. Comme il arrive assez généralement que les problèmes « grossissent », les utilisateurs sont souvent obligés d'en venir aux services d'un centre de calcul, après avoir dégrossi leurs problèmes sur un calculateur de bureau. Ils en gardent la nostalgie de la « machine à soi », mais n'ont pas d'autre choix, du fait de l'importance de l'outil de calcul dont ils ont besoin.

Un curieux dialogue

Le temps partagé a d'abord été la réponse à la contradiction jusqu'alors très mal abordée, entre les besoins de l'utilisateur et le rendement de la machine.

Voyons de plus près le fonctionnement d'un système de ce genre, en suivant des exemples plus animés que des exposés de principes. Supposons que nous soyons un des « abonnés » d'un système en temps partagé. Allons à une console disponible, soit dans le bureau où nous sommes, soit dans une salle de travail qui en groupe plusieurs offertes en libre service. L'appareil n'a rien d'insolite, c'est tout simplement une machine à écrire, avec quelques boutons et voyants lumineux supplémentaires. Détail notable, un téléphone, ou un cadran de nu-

mérotation, accompagne chaque console. Nous mettons sous tension, et nous appelons le calculateur, par exemple CAL 35-12. On entend quelques hoquets mécaniques, un œil vert s'allume : le calculateur est en ligne.

Quelques mots de présentation réciproque avant d'entamer l'entretien.

ICI ARTHUR
Quel est votre numéro de compte ?
007
ARTHUR 007 est inconnu.

Et l'œil vert s'est éteint (1). Il n'y a rien d'anormal dans cette prise de contact manquée. En effet, tout utilisateur doit être connu du calculateur pour bénéficier de son aide, de même qu'on n'obtient pas de renseignements auprès de S.V.P. si l'on n'a pas souscrit un abonnement. Le service du calculateur est comptabilisé, il faut donc décliner une identité et un numéro d'abonnement corrects pour être admis. Appelons à nouveau le calculateur, sans essayer de tricher cette fois.

ICI POUZIN M 1416
Quel est votre mot de passe ?

Cette machine est bien curieuse ! Mais à juste titre. Il est en effet assez facile de subtiliser le nom et le numéro d'abonné d'une personne, ne serait-ce qu'en assistant à une démonstration. Aussi le système prend des précautions, et chacun doit fournir, en plus de son identification, un mot de passe secret. Il suffit de le taper au clavier, mais il ne s'imprime pas sur le papier. Le calculateur, qui s'attend à ce mot de passe, a envoyé un signal spécial qui empêche le mécanisme d'impression de fonctionner, tandis que le clavier reste libre.

Ce mot de passe était certainement correct, puisque nous recevons maintenant l'accusé de réception.

POUZIN M 1416 pris en compte le 20 JAN 68, à 10.09.12.
La précédente transaction a pris fin le 19 JAN 68, à 21.37.15.
Système en service : TP 3.1.
Un nouveau programme de budget est disponible.
Son mode d'emploi est décrit dans le bulletin n° 106.
Vous avez du courrier.
R. 2.300.

Ces indications retracent l'historique des conversations avec le calculateur. Au cas où la dernière prise de contact indiquée serait plus récente que celle dont on se souvient, il se pourrait qu'une autre personne ait réussi à obtenir le mot de passe. Dans ce cas, la première chose à faire serait de le modifier en utilisant un deuxième mot de passe prévu à cet effet. Mais ceci ne se produit que si l'on a communiqué imprudemment son mot de passe à des tiers peu scrupuleux. Par contre, cette possibilité est intéressante lorsque plusieurs personnes doivent travailler sous la même identification, alors qu'une seule d'entre elles est autorisée à changer le mot de passe.

Les services assurés par le calculateur sont entièrement dus au système de programmes permanents auxquels l'usager peut faire appel. Comme ce système est très vaste, et qu'il reçoit des améliorations ou des changements variés, le calculateur indique la version actuellement en service. Les particularités ou nouveautés de chaque version du système sont communiquées aux usagers par des bulletins périodiques ; mais quelquefois la date de mise en service d'un programme n'est pas connue avec précision, ou bien il est bon de le rappeler aux usagers qui ne lisent pas les bulletins. Au moment de la prise de contact avec le calculateur, celui-ci émet donc quelques nouvelles brèves à toutes fins utiles.

Puis, cette dernière ligne : « Vous avez du courrier ». Il ne s'agit pas d'enveloppes en attente au secrétariat, mais de messages envoyés par d'autres utilisateurs pendant les périodes où le destinataire n'était pas en communication avec le calculateur. Pourquoi ne pas prendre immédiatement connaissance de ces messages ?

LIRE COURRIER
De FAURE T 127 le 20 JAN 68 à 9.20.
Votre démonstration se passe-t-elle bien ?
On pourrait aller déjeuner ensuite.
R. 0.640.

L'illusion de l'humain

Poussons maintenant un peu plus avant la prise de contact avec le système. Un moyen très apprécié est de faire « jouer » les usagers débutants, ce qui a pour effet de

(1) Pour que l'on distingue facilement sur le papier les réponses du calculateur, la plupart des systèmes utilisent le ruban bicolore de la machine à écrire, les mots frappés par l'usager paraissant en rouge. Dans cet article, ils paraîtront en caractères gras, tandis que les mots venant du calculateur paraîtront en caractères ordinaires.

EXÉCUTE NIM

A. o
B. o o o
C. o o o o o
D. o o o o o o o

Cette figure vous rappelle sans doute ce jeu connu où deux joueurs tentent de se laisser le dernier pion. Voici les règles :

1° Vous pouvez prendre un nombre quelconque de pions dans une seule rangée à la fois.

2° Le joueur qui joue le dernier a perdu.
Exemple : vous tapez C 2 si vous voulez prendre deux pions dans la rangée C. Bonne chance.
A vous de jouer.

D 1
A. o
B. o o o
C. o o o o o
D. o o o o o o o

Je joue A 1.
B. o o o
C. o o o o o
D. o o o o o o o

A vous.

B 2
B. o
C. o o o o o
D. o o o o o o o

Je joue D 2.
B. o
C. o o o o o
D. o o o o

A vous.

C 3
B. o
C. o o
D. o o o o

Je joue D 1.
B. o
C. o o
D. o o o

A vous.

D 2
B. o
C. o o
D. o

Je joue B 1.
C. o o
D. o

A vous.

C 2
D. o

Vous avez gagné. Bravo. J'étais pourtant en bonne voie. Mais comme je jouais sept parties simultanées, vous avez surpris mon attention par votre excellente stratégie. A la prochaine.
R. 12.450.

les familiariser sans trop de peine avec la machine à écrire, et de « briser la glace », ainsi que toutes sortes d'inhibitions psychologiques envers les mystérieuses subtilités du « cerveau électronique ». Les phases d'un tel jeu sont représentées ci-contre.

Il ne faudrait pas se laisser prendre au subterfuge de la faute d'inattention. Ceci est une simple mise en scène pour donner au joueur l'impression qu'il a ses chances. Et il en a quelques-unes en effet, car le programme que nous venons d'utiliser prévoit de « gaffer » dans une certaine proportion. Mais ceci est sans rapport avec l'habileté du joueur, car, dans ce cas précis, il existe une tactique assurant la défaite certaine du joueur qui commence. Il suffit de se reporter au dernier mouvement du calculateur pour constater que C1 au lieu de B1 lui assurait la victoire.

L'impression d'entrer en conversation avec un être intelligent peut prendre des formes très convaincantes. Tel ce programme de simulation d'un psychanalyste réalisé par un professeur américain et qui fournit le dialogue suivant.

EXÉCUTE DOCTEUR

Comment allez-vous ? Qu'est-ce qui vous amène ?

Oh, ça ne va pas bien.

Pourquoi pensez-vous que ça ne va pas bien ?

Je ne sais pas.

Avez-vous une idée plus précise de vos ennuis ?

Tout me dégoûte.

C'est vraiment triste que tout vous dégoûte.

Les gens ne me comprennent pas.

Qu'est-ce que vous appelez les gens ?

Tout le monde, et même certains en particulier.

Avez-vous à l'esprit certaines personnes ?

Oui, des gens comme vous qui font exprès de m'embêter.

Y a-t-il d'autres gens comme moi qui font exprès de vous embêter ?

Vous êtes bien comme Florence.

Quelle ressemblance trouvez-vous entre Florence et moi ?

Vous n'arrêtez pas de parler pour ne rien dire.

Quel est le rapport avec le fait que tout vous dégoûte ?

Oh ça va.

Est-ce que Florence fait partie des gens qui font exprès de vous embêter ?

STOP

R. 30.612

La conversation que l'on a pu suivre ici pourrait durer indéfiniment, aussi nous avons appuyé sur un bouton spécial qui a pour effet de stopper le programme exécuté par le calculateur à notre intention. C'est ce qui provoque l'impression de STOP.

Ce petit exemple est à la limite du jeu, car il est tentant d'oublier que l'on parle à une machine, et de s'imaginer en liaison avec un partenaire mentalement capable de comprendre. Ce programme n'a pas été réalisé dans le but de pratiquer une certaine forme de psychanalyse mécanique ; le contexte est simplement un scénario destiné à étudier les phénomènes de « compréhension » entre l'homme et la machine. Il suffit d'examiner d'un peu près le dialogue pour constater que la machine utilise des règles assez simples de composition des phrases à partir de ce que la personne lui envoie.

L'habileté du programme consiste à repérer certains mots courants (pronoms, conjonctions, noms, adjectifs), et à produire une réponse incluant plus ou moins de mots du texte original. Si le programme ne trouve pas les critères prévus, il pose des questions générales, ou revient à des parties antérieures du dialogue.

Bien que des mécanismes de cet ordre n'aient évidemment aucun rapport avec ce qui constitue la « compréhension » entre les personnes, on voit apparaître sur ces exemples une qualité de rapports homme-machine beaucoup plus subtile que celle rencontrée dans les méthodes traditionnelles de travail à la chaîne. Nous y reviendrons plus loin.

Classer, stocker, protéger

Revenons à des considérations plus terre à terre.

D'où viennent ces programmes NIM, DOCTEUR ? Comment est arrivé le COURRIER ? Ce sont en bref des « fichiers » permanents rangés dans les mémoires du calculateur. Comme il n'y aurait évidemment pas la place nécessaire en mémoire centrale, ils sont habituellement rangés sur des disques, où il suffira d'un dixième de seconde pour les retrouver. Dans la terminologie courante, un fichier est une collection de fiches. Dans le contexte des calculateurs, on donne ce nom à un groupe quelconque d'informations que l'on trouve commode de considérer comme une entité indépendante. Chaque abonné peut donc conserver un certain nombre de fichiers personnels dans le système, comme des objets qu'il y aurait laissés en garde.

Voyons par exemple la liste actuelle de nos fichiers :

LISTE FICHIERS

58 fichiers. 84 blocs.

Noms		Mode	Blocs	Date
COURRIER	BCD	P	1	20 JAN 68
NIM	ABS	P	24	20 JAN 68
DOCTEUR	ABS	1 710 T	124	
TUNNEL	ALGOL	V	7	19 JAN 68
BATEAU	IVRE	P	5	19 JAN 68
BUDGET	ABS	1 236 T	514	

STOP
R. 1.730

Avec STOP, nous avons interrompu la liste.

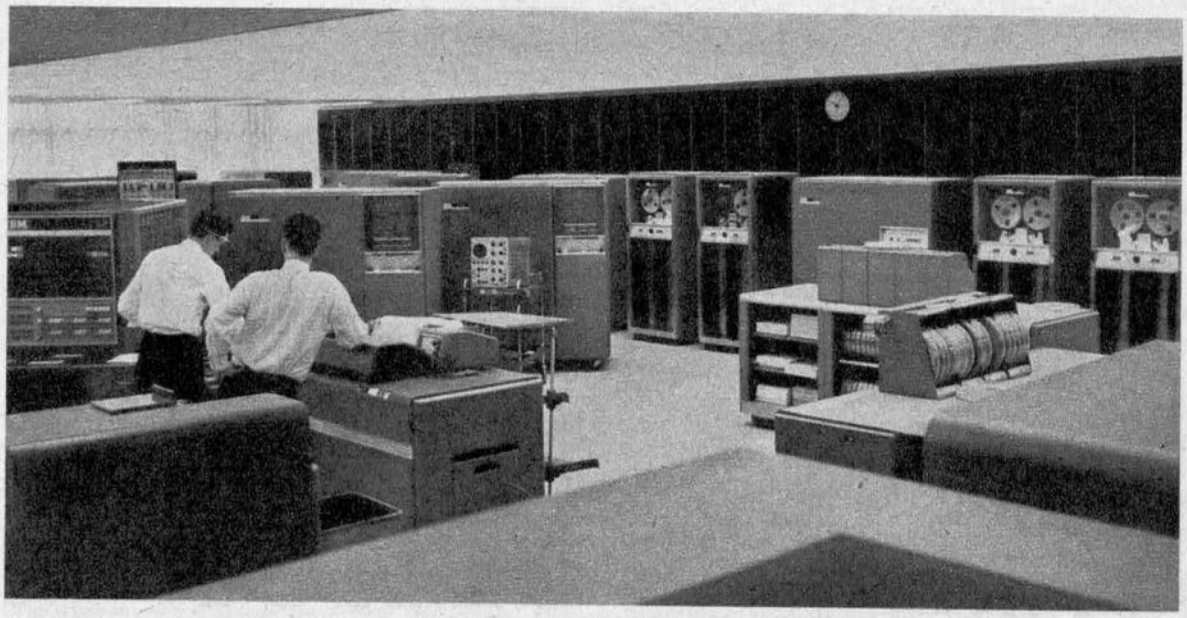
Les noms des fichiers sont arbitrairement choisis par l'usager ; mais, par commodité, le nom est formé de deux parties, et la seconde sert à classer le fichier dans quelques grandes catégories, en fonction de son contenu. Ainsi BCD indique un fichier constitué de texte alphabétique, sans mise en page particulière ; ALGOL désigne un programme écrit dans ce langage ; BIN est un programme en code binaire produit par un compilateur ; ABS est une autre forme de code binaire, qui est utilisable directement par le calculateur ; etc. Mais il est permis de s'écarter de ces conventions.

Il n'y a pas à craindre d'ambiguïté ou d'indiscrétion concernant les noms donnés par d'autres usagers à leurs propres fichiers. Chacun possède sa propre liste, et le calculateur se charge d'interdire l'accès aux fichiers des autres.

La liste indique également la date la plus récente d'utilisation des fichiers, leur dimension en unités de mémoire à disque (quelques milliers de caractères), et un mode qui dénote la manière dont ils doivent être protégés pour l'usager lui-même.

Ainsi le mode T (temporaire) s'applique à un fichier qui existe très peu de temps, et peut donc dépasser momentanément la capacité de mémoire allouée à l'usager. Un fichier en mode P (permanent) est conservé indéfiniment mais peut être modifié ou détruit à volonté par l'usager. Un fichier en mode V (verrouillé) a les mêmes propriétés de permanence que P, mais on peut seulement le lire ; pour le modifier, il faut au préalable lui donner le mode P ou T. Il peut exister d'autres modes doués de propriétés plus spéciales, mais cela nous entraînerait un peu trop loin dans des développements de détails.

Ces mécanismes de protection ont pour but de protéger un usager contre la destruction involontaire des fichiers par suite d'inattention ou d'erreur de manipulation. Prenons quelques exemples :



Le centre de calcul du Massachusetts Institute of Technology, où furent effectuées sur l'ordinateur IBM 7090 les premières études sur le temps partagé.

```
DÉTRUIRE COURRIER BCD
R. 0.760
```

Ce fichier a maintenant disparu. Voyons ce que dira la machine, si nous essayons de le retrouver :

```
LIRE COURRIER BCD
COURRIER BCD n'existe pas.
R. 1.310
```

Afin d'éviter de pareilles mésaventures, l'utilisateur peut donc placer en mode protégé les fichiers qu'il souhaite préserver. Ce que nous pouvons faire pour NIM :

```
MODE NIM ABS V
R. 0.710
```

Maintenant, nous pouvons essayer de tester la protection :

```
DÉTRUIRE NIM ABS
NIM ABS est en mode V.
Voulez-vous le détruire ?
NON
NIM ABS maintenu.
R. 0.830
```

Une gestion très équitable

D'autres indications apparaissent dans la liste de fichiers obtenue plus haut. La date est celle de la dernière utilisation. Comme la liste est ordonnée par dates d'utilisation les plus récentes, nous voyons d'abord apparaître les fichiers les plus souvent utilisés. En donnant des ordres différents au système, on pourrait néanmoins obtenir une liste ordonnée selon d'autres critères de classement, tels que le mode, ou l'ordre alphabétique.

L'indication du nombre de *blocs* est une mesure de la quantité de mémoire occupée sur disque. Chaque usager possède un « crédit » de mémoire qui fait partie des conditions de souscription. Il peut l'utiliser comme bon lui semble, jusqu'à concurrence du maximum alloué. En cas de dépassement intempestif, le système le prévient de façon que le déficit soit résorbé dans une certaine limite de temps, sous peine de contre-mesures plus radicales.

Une variété particulière de fichiers, tels que DOCTEUR, n'est pas accompagnée du nombre de blocs de mémoire utilisés. On voit sur la liste une référence au numéro d'identification d'un autre usager. Il s'agit là de fichiers « partagés » dont le propriétaire autorise l'accès à d'autres usagers, habituellement dans des conditions qui excluent les risques de destruction. C'est une des fonctions primordiales d'un système en temps

partagé que de procurer aussi à ses utilisateurs des moyens de communication et de partage de leurs propres informations.

La mémoire n'est pas le seul élément comptabilisé. Le temps l'est aussi. On a pu remarquer au vu des dialogues représentés ci-dessus, que chaque « entretien » se termine par un chiffre, précédé de R. Cette lettre est un simple signe conventionnel, pouvant signifier « Repos », et indiquant la fin d'exécution de l'ordre donné au calculateur. Les chiffres indiquent le temps passé à exécuter cet ordre. Dans nos exemples, ce temps est exprimé en secondes et millisecondes. On voit que la plupart des ordres ont été exécutés en moins d'une seconde, alors qu'il a fallu plusieurs dizaines de secondes pour frapper l'ordre au clavier, ainsi que pour imprimer la réponse du calculateur. C'et ce qui permet de partager le temps du calculateur entre plusieurs usagers, puisque chacun d'eux n'utilise en fait qu'une faible fraction du temps de calcul alors que sa console est occupée entièrement par les dialogues ou les temps de réflexion.

Une bibliothèque de programmes

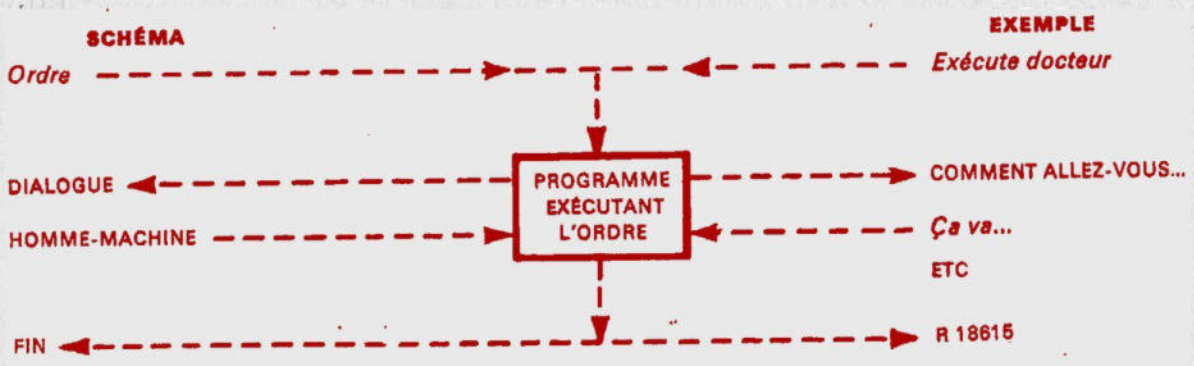
Ainsi que nous avons pu l'expérimenter dans ce qui précède, l'un des principaux moyens d'action du système réside dans sa mémoire permanente, c'est-à-dire dans les fichiers, et les moyens d'y accéder. Tout ce que nous avons mis en œuvre jusqu'ici se ramène au schéma ci-dessous.

En général, donner un ordre au système, tel que LIRE, DETRUIRE, etc., a pour effet de mettre en activité un programme spécialisé dans l'exécution de l'ordre particulier. Tous ces programmes sont en permanence dans les mémoires à disques, ou quelquefois dans la mémoire centrale, et ne sont rien de plus que des « fichiers » appartenant au système, et accessibles à tous les usagers.

Dans le cas d'un ordre tel qu'EXECUTE, le fichier qui fournit le programme appartient à un usager. Le système lui prête donc la main pour l'exécution de ses propres programmes. Mais le plus souvent ce n'est pas un seul, mais plusieurs fichiers qui interviennent en cours d'exécution. Ainsi, dans l'exemple de lecture de courrier, l'usager appelle le programme LIRE, qui est construit pour lire n'importe quel fichier, sous réserve bien entendu de préciser le fichier à lire. Le schéma peut donc se généraliser comme on le voit page ci-contre.

Nous retrouvons ici une structure logique familière, qui est l'organigramme, avec des « boîtes » représentant des programmes, d'autres représentant des « données », et des flèches indiquant le trajet du programme en exécution, ou les entrées-sorties de données. On pourrait aussi introduire les branchements conditionnels et les boucles de répétition que comportent les programmes répétitifs.

Le point à noter est que l'utilisation en temps partagé ne restreint pas la structure logique des problèmes. Ce que nous avons, par simplification, baptisé un « ordre » peut représenter un diagramme aussi ramifié que l'on veut. Il n'y a donc pas de différence notable entre la complexité d'analyse d'un problème, qu'il soit traité ou non en temps partagé. Mais sur un autre point, le contraste est au contraire considérable. Dans un centre de calcul, la machine est livrée à elle-même lorsqu'elle exécute le travail. Si tout n'est pas prévu par l'utilisateur, le résultat est habituellement mauvais, et la seule issue consiste à faire des corrections et redemander une nouvelle exécution. En temps partagé, ainsi qu'il apparaît sur le diagramme, l'usager *fait partie du programme*. Compte tenu de ses facultés de jugement, c'est



l'homme, et non la machine, qui devient le principal acteur, capable d'intervenir continuellement en cours d'exécution, pour modifier les données, estimer la qualité des résultats, résoudre les éventualités non programmées, et donner toutes sortes de « coups de pouce », ou d'indications qu'il serait fastidieux ou impossible de prévoir à l'avance.

Comment établir un budget

Un autre exemple, plus utilitaire, peut nous permettre de mettre en évidence cette coopération continue. Au début de cet article, on se souvient que le système nous indiquait la disponibilité d'un nouveau programme de budget. Essayons-le.

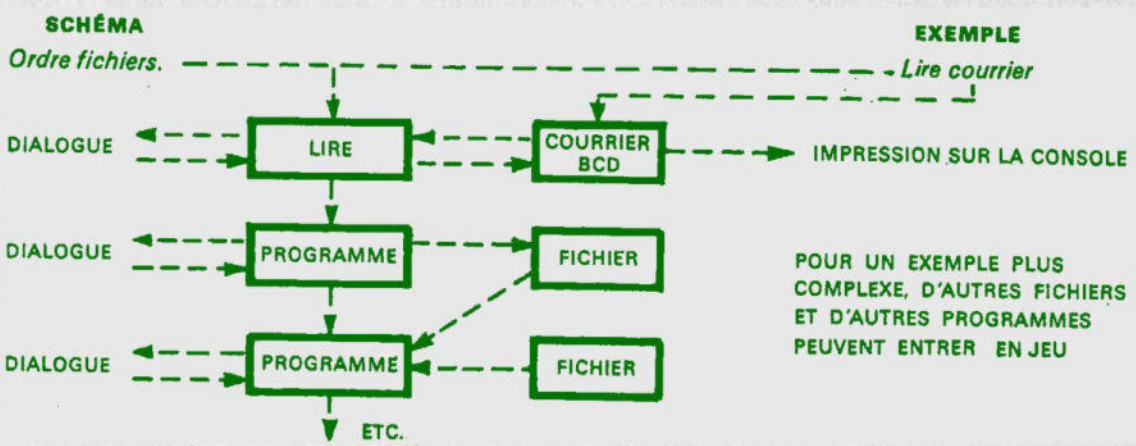
```
EXÉCUTE BUDGET
Date de début: (MM/AA)? 01/68
Durée: (nb. mois)? 6
Montant disponible: (en 1 000 F)? 300
Frais généraux: (%)? USUEL
Personnel: (en nb. de personnes)
          JAN  FEV  MAR  AVR  MAI  JUN
CAT. 1?    3    5    5    7   ...
CAT. 2?    6   10   ...
CAT. 3?    2    2    2    4   ...
Mobilier: (Francs ou % salaires)? %
Taux? USUEL
Matériel de bureau: (Francs ou % salaires)? F
JAN    FEV    MAR   AVR   MAI   JUN
3 000  1 000  200   700   100   100
......
```

Le programme de budget pose ainsi toutes les questions appropriées pour établir un programme de dépenses et recettes conformément aux directives établies dans l'organisation. Des taux usuels pour frais généraux, catégories de personnel, frais de déplacement, etc. peuvent être appliqués automatiquement, à moins que l'utilisateur ne préfère préciser lui-même le taux ou le montant à appliquer. Il peut aussi introduire de nouveaux postes de budgets :

```
......
Autre poste? RÉFRIGÉRATEUR
JAN  FEV  MAR  AVR  MAI    JUN
0    0    0    0    1 500
Autre poste? NON
Voulez-vous MODifier, RANger, ou les RÉSultats? RES
Détail, par Poste, par Mois, ou Total? D
Personnel      JAN      FEV      MAR
CAT. 1       15 000   25 000   25 000
CAT. 2       18 000   30 000   30 000
CAT. 3        4 000    4 000    4 000
Mobilier        370      590      590
  (etc.)
Total        51 312   70 607   72 993

  AVR      MAI      JUN      TOTAL
35 000   35 000   35 000   170 000
30 000   30 000   30 000   168 000
 8 000    8 000    8 000    36 000
   730      730      730     3 740
85 173   82 491   84 327   446 903
Total disponible: 300 000.
Dépassement: 146 903.
Voulez-vous MODifier, RANger, ou les RÉSultats? MOD
Modification: Générale, Détaillée, ou Sélective? S
Autre poste? PERSONNEL
En % ou Quantité? Q
          JAN  FEV  MAR  AVR  MAI  JUN
CAT. 1?    3    4    4    5   ...
CAT. 2?    6    8    8   ...
CAT. 3?   ... (pas de changement) (1)
Autre poste? DÉPLACEMENTS
```

(1) Les commentaires en italique sont ajoutés pour éclairer le lecteur.



En % ou Quantité ? %
Taux ? — **50** *(50 % de réduction des dépenses prévues)*
Autre poste ? **RÉFRIGÉRATEUR**
En % ou Quantité ? %
Taux ? — **100** *(on sacrifie le réfrigérateur)*
Autre poste ? **NON**
Voulez-vous MODifier, RANger, ou les RÉSultats ? **RES**
Détail, par Poste, par Mois, ou Total ? **T**
Total : 332 514
Total disponible : 300 000.
Dépassement : 32 514.
Voulez-vous MODifier, RANger, ou les RÉSultats ? **RAN**
Donnez un nom de fichier ? **RADIN**
RADIN BUDGET créé. *(En l'absence de précision, le fichier reçoit automatiquement la classe BUDGET.)*
R. 29.040

Le problème de boucler ce budget est arrêté à ce point. Il paraît un peu trop ardu. Nous le laissons reposer pour en débattre entre-temps avec des collègues, et au besoin prendre conseil auprès du patron. Après quoi, il suffira de reprendre le travail au point où il en était, en appelant: EXECUTE BUDGET RADIN.

Il serait même possible que plusieurs personnes participent tour à tour à l'élaboration du budget en question, chacune pour la partie dont c'est la spécialité. Le résultat intermédiaire peut être revu par un responsable qui équilibre ou tranche les choix en suspens. Chacune des personnes concernées par l'établissement de ce budget recevra le fichier RADIN qui est « partagé », et le soumettra aux retouches ou contrôles souhaitables. Si l'on craint de détériorer une situation peut-être acceptable, en essayant des chiffres trop fantaisistes, il suffit de créer une copie du budget dans son état actuel. Pour cela on enverra à la machine un nouvel ordre.

COPIER RADIN BUDGET RADIS
RADIS BUDGET créé.
R. 2.117

Nous avons maintenant une copie brouillon, RADIS, qui peut être soumise à toutes les tortures sans que nous risquions de perdre le compromis élaboré dans RADIN et qui n'est peut-être pas si mauvais. Au cas ou le résultat final serait jugé meilleur, il suffirait d'ordonner :

NOMMER RADIS BUDGET RADIN
Précédent RADIN BUDGET détruit.
R. 0.760

Un auxiliaire bientôt irremplaçable

On conçoit que dans une société utilisant pendant plusieurs années un calculateur en temps partagé, le volume d'informations « partagées » ira s'accroissant, au bénéfice de l'usager quotidien. Un dialogue de questions et réponses permet de retrouver d'anciens fichiers, fournissant des éléments de comparaison. Et surtout, un grand nombre de programmes, généraux ou spécialisés, peuvent être construits par les usagers eux-mêmes, et mis à la disposition de tous. Ce programme de budget est très exactement le genre de travail que peut réaliser un service financier, pour ses besoins internes d'abord, et pour en répandre l'usage dans d'autres services, afin d'assurer une homogénéité de points de vue et de techniques de prévision.

Cet exemple de programme de budget met en évidence une nature de problèmes que l'on ne peut guère traiter sur machines en dehors de l'utilisation en temps partagé.

Il implique tout d'abord la faculté de conserver en mémoire un grand nombre de données : travaux en cours, barèmes ou lois générales, programmes assez complexes pour traiter une variété d'options et guider l'utilisateur.

Le problème, d'autre part, n'est pas formulable en termes précis. Il n'a pas de solution exacte, mais des solutions discutables. Le résultat n'est qu'un compromis entre plusieurs autres solutions possibles, que l'on « juge » moins bonnes. Encore faut-il pour les juger que ces solutions soient obtenues. Il n'est donc pas possible de composer un programme, si gros soit-il, qui donne « le » résultat. On peut seulement *aider* une personne à trouver « un » résultat.

La recherche d'une solution acceptable est aussi une activité *continue*. A tout instant il faut pouvoir examiner les chiffres déjà obtenus, essayer des corrections, tâtonner sans contrainte et aussi rapidement que possible. Le facteur rapidité est capital, car c'est lui qui permet une concentration efficace de la pensée sur un sujet défini, et un grand nombre d'essais d'où l'on pourra tirer les meilleurs échantillons.

En se laissant aller à rêver quelque peu, il est facile d'imaginer une myriade d'applications du temps partagé. Certaines, comme l'accès immédiat à un fichier de toutes les

A Paris, le terminal du centre récent de temps partagé de Bull-General Electric assure un contact direct avec l'utilisateur pour son dialogue avec l'ordinateur central.

connaissances humaines, sont encore futuristes. D'autres, comme la machine à constituer les menus, à dresser les listes de convives ou de boutiques à la mode, sont certainement réalisables actuellement, mais ne trouveraient sans doute qu'un marché trop étroit (qui sait, cependant ?).

La programmation à la portée de tous

La forme incontestablement la plus populaire actuellement des systèmes en temps partagé consisterait à donner à tout usager la possibilité de programmer lui-même dans un langage simple les problèmes qui lui viennent à l'esprit.

C'est en effet une des révélations inattendues du temps partagé que d'avoir séduit, jusqu'à les faire programmeurs, une très large variété de professionnels : ingénieurs, experts-comptables, linguistes, commerçants, etc. qui n'avaient jamais auparavant sérieusement tenté d'utiliser un calculateur. Les possibilités de base dont ils disposent sont des moyens de se constituer des fichiers personnels (données ou programmes), et une panoplie de quelques dizaines *d'ordres* tels que ceux vus au cours des exemples précédents. A cela vient s'ajouter habituellement un substantiel apport de programmes ou données partagés, qui sont mis en commun par tous les utilisateurs.

Ainsi qu'on peut le prévoir, le nouvel usager essaie d'abord de se limiter aux programmes existants. Puis, très rapidement, le désir d'améliorations commence à le taquiner. Après quelques bricolages modestes, il acquiert assez d'assurance pour entreprendre la réalisation d'idées personnelles. Il se peut qu'après avoir bien maîtrisé la puissance et les limites du calculateur, ses goûts ou obligations le portent vers d'autres sujets. Mais l'expérience acquise devient un réflexe mental qui l'amène naturellement à juger de l'utilité d'un calculateur dans toutes ses activités professionnelles. Plus qu'une particulière spécialité technique, l'utilisation en temps partagé apporte essentiellement une initiation directe et concrète à l'univers du calculateur.

Il faut noter que ce sont des universitaires, chercheurs et utilisateurs avertis, qui ont réalisé les premiers systèmes en temps partagé. Cette constatation est assez symptomatique. En effet, les milieux scientifiques et techniques mettent en contact permanent une concentration assez rare de très bons spécialistes des calculateurs, avec une population nombreuse d'utilisateurs très peu entraînés à la programmation (étudiants, chercheurs d'autres disciplines), mais non moins brillants et enthousiastes. C'est de ce « bouillon de culture » qu'est sorti le temps partagé, et non des services d'études des puissants constructeurs. Il s'agit là d'une reconquête de la machine par les utilisateurs pour en faire un outil plus facile d'accès, plus commode d'emploi, et en définitive plus puissant. En même temps, cette

révolution a été aussi celle de la vulgarisation de la programmation, qui se trouvait mise à la portée de toute personne curieuse ayant quelques heures à sa disposition. Il est en effet très facile de s'entraîner à composer de petits programmes, les mettre au point en les faisant exécuter par étapes, puis les perfectionner pour un usage plus réaliste.

D'une manière générale, la confection d'un programme est toujours un travail très progressif, parsemé de retouches, remises en forme, adjonctions nouvelles, nécessitant un grand soin et une surveillance de tous les détails. Cet aspect fastidieux peut se traduire par une très médiocre productivité des programmeurs. L'utilisation d'un système en temps partagé permet d'atteindre un rendement deux à quatre fois supérieur à celui des méthodes traditionnelles : perforation de cartes, attente d'essais, recherche des erreurs après (et non pendant) l'exécution du programme. La réduction du délai de production des programmes est encore plus spectaculaire, du fait que les programmeurs peuvent se concentrer sur un seul travail, sans avoir à s'interrompre pour d'autre cause que leur propre fatigue.

Cette prise de contact avec le temps partagé pourrait naturellement nous entraîner à explorer bien d'autres domaines. Mais il semble qu'il se fait tard. Demandons l'heure.

```
HEURE
12.07.23
R. 0.130
```

Il est temps de penser au déjeuner.

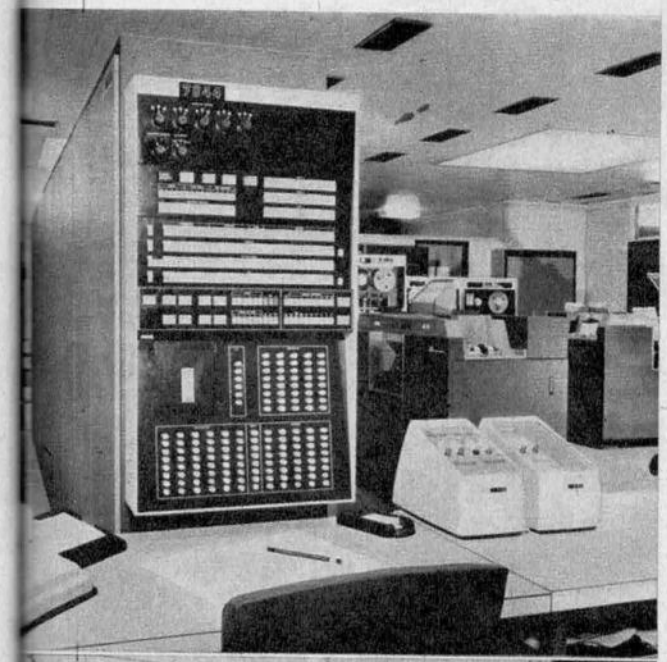
```
COURRIER FAURE T 127
R.V. à 12.30 chez Albert.
R. 3.260
FIN
POUZIN M 1416 terminé le 20 JAN 68, à 12.09.40.
Temps processeur utilisé 1,27 minute.
```

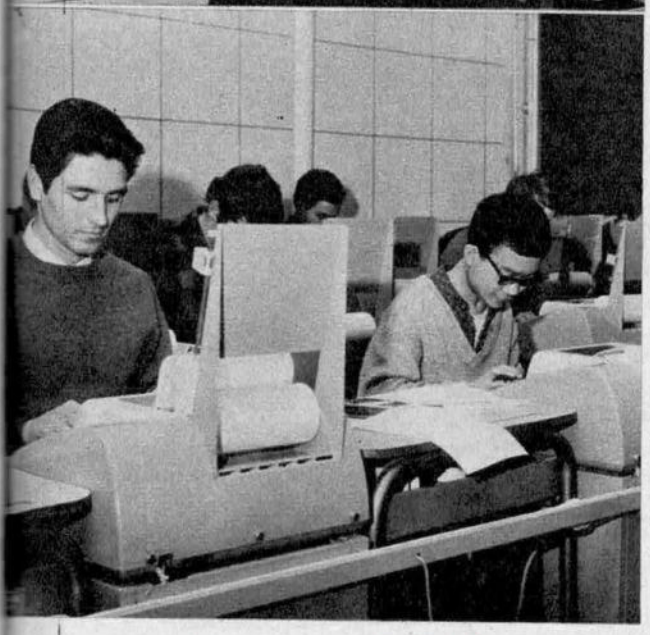
Des possibilités illimitées

Toutes ces opérations n'ont guère pris plus de 1 % de l'activité du calculateur central. Cependant, nous avons eu pendant deux heures la disponibilité complète (à notre rythme) d'un grand calculateur. Ce qui revient à dire que 100 personnes travaillant de cette manière auraient eu simultanément l'illusion que toute la machine était continuellement à leur disposition. En réalité, les exemples présentés ici étaient souvent formés de petites tâches, entrecoupées de bavardages. Notre rendement était donc très mauvais ; mais cela ne coûte aucun temps de calculateur. Le nombre d'usagers simultanés est en pratique réduit à 30 ou 40, parce qu'ils demandent des travaux plus importants que nos exemples. Mais chacun paie seulement pour le temps réellement utilisé. Dans le cas présent, la facture serait de l'ordre de 75 F, c'est-à-dire du même ordre que le prix d'une communication téléphonique de même durée sur une distance de quelques centaines de kilomètres.

Quelle est dans tout cela la part de vrai ou de faux ? N'est-ce pas la question qui s'impose à l'esprit ? Le faux tient à ce que le système en temps partagé utilisé comme exemple est purement hypothétique. Le vrai est que tous les exemples donnés ici sont simplement des paraphrases de possibilités réelles existant sur différents systèmes depuis 1964. Pour être précis, citons simplement le projet MAC, au Massachusetts Institute of Technology, et le TSS de System Development Corporation. Les deux sont aux Etats-Unis. La réalité dépasse même très largement ce que peut raisonnablement contenir un article de revue. Des programmes importants permettent de traiter en temps partagé des problèmes aussi complexes que les calculs d'ouvrage d'art (ponts, charpentes), ou de construction navale, simuler des situations économiques ou sociologiques, rechercher les valeurs de réglages de raffineries, tester des systèmes d'alerte et de navigation aérienne, etc. A côté de ces programmes « mammouth », notre exemple de BUDGET représente un exercice de débutant.

Une nouvelle révolution s'est amorcée depuis 1963-64, avec la *représentation des images* par un calculateur. Bien que cette technique soit encore à un stade très expérimental, les réalisations actuelles sont déjà étonnantes. Ayant remplacé la machine à écrire par un écran de télévision, une sonde lumineuse en forme de stylo et une panoplie de boutons poussoirs, l'usager en temps partagé dessine directement sur l'écran les objets avec lesquels il veut travailler : pièces mécaniques, molécules chimiques, circuits électriques, schémas logiques, objet divers. De son côté le calculateur peut envoyer les images d'objets qu'il a créés, transformés, mis en mémoire. L'usager devient alors le plus habile des magiciens, jouant avec des objets fantômes dont la présence obéit à la baguette lumineuse. Il peut les déplacer, les déformer, les com-





Sous le nom de Diamag, le Service de Mathématiques Appliquées de la Faculté des Sciences de Grenoble a mis au point un système en temps partagé pour l'entraînement à la programmation d'un nombre important d'élèves simultanément. Entre les consoles périphériques (en bas) et l'unité centrale de l'ordinateur (en haut) s'établit un véritable dialogue, avec détection des erreurs de syntaxe, possibilité de manipulation des programmes et de contrôle de leur exécution correcte par un jeu d'interruptions.

biner entre eux, bâtir un circuit électrique et *voir* la forme des impulsions qui le traversent, modifier les valeurs des éléments pour obtenir un autre réglage. Il peut construire une aile d'avion, et la faire voler, en étudiant au ralenti les vibrations amplifiées. Il peut mélanger deux liquides et suivre l'évolution des molécules de chacun d'eux, etc.

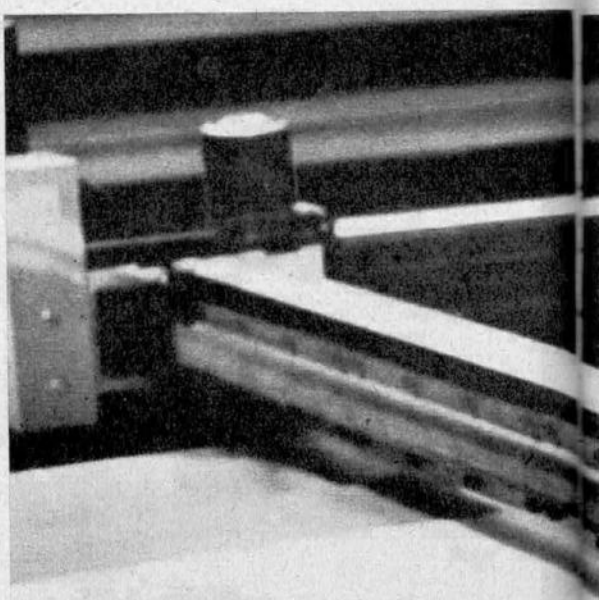
C'est une banalité de mentionner que tous ces progrès techniques ont été acquis aux Etats-Unis. Les moyens matériels, et une très large accoutumance à l'emploi des calculateurs, y ont créé un milieu privilégié où les audaces techniques deviennent un fait quotidien. L'Europe suit avec quelques années de décalage. Selon le même processus qu'outre-Atlantique, ce sont principalement les Universités qui font les premiers pas en temps partagé. A Grenoble, Toulouse, Paris, des équipes de chercheurs et étudiants ont déjà réalisé leur système, qu'ils remplacent régulièrement par de nouvelles versions plus élaborées. Cette première vague est en plein essor.

La deuxième vague, celle d'une diffusion commerciale plus large dans un contexte d'utilité et de rentabilité plus immédiates, est encore très hésitante. Après une assez longue période d'attente, les principaux constructeurs de calculateurs semblent se préparer à franchir le pas. Dès la mise en service d'un réseau d'abonnés en temps partagé, la concurrence toujours très vive dans ce milieu jouera un rôle déterminant dans sa prolifération. Si l'amorçage de cette phase paraît maintenant sérieusement engagé, son développement risque de subir un freinage par suite du sous-équipement du réseau téléphonique, et de ses réglementations inadaptées aux évolutions rapides de la technique.

Nous sommes actuellement au début d'une ère de mutation des structures industrielles et sociales, avec l'importance que prend l'« information » dans la vie quotidienne. Le temps partagé est l'une des manifestations de cette évolution qui permettra de distribuer les services des calculateurs à l'échelle convenable pour une consommation massive. Télécommunications et calculateurs deviendront aussi indissociables que lignes à haute-tension et alternateurs. Laissons donc à nos descendants le soin d'énoncer des conclusions sur un sujet dont la jeunesse et la richesse d'invention sont en ébullition permanente.

Louis POUZIN

L'ORDINATEUR AU SERVICE DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE



Si le fait n'est pas encore acquis pour des raisons économiques ou d'attachement aux traditions, le temps est proche où aucun ingénieur ou chercheur ne pourra effectuer ses travaux sans faire appel aux ordinateurs à un moment ou à un autre d'un cycle de recherches ou de développement. Il aura fallu un peu plus de dix ans depuis l'apparition des premières calculatrices électroniques pour que leur utilisation se généralise dans tous les domaines de la création, en particulier dans la recherche scientifique et les activités technologiques.

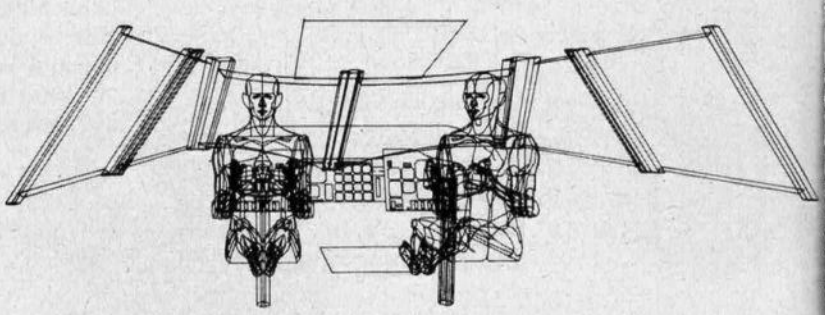
Les raisons pour lesquelles l'utilisation des ordinateurs est devenue possible avec une pareille ampleur sont extrêmement nombreuses mais, en fait, elles sont de deux sortes :

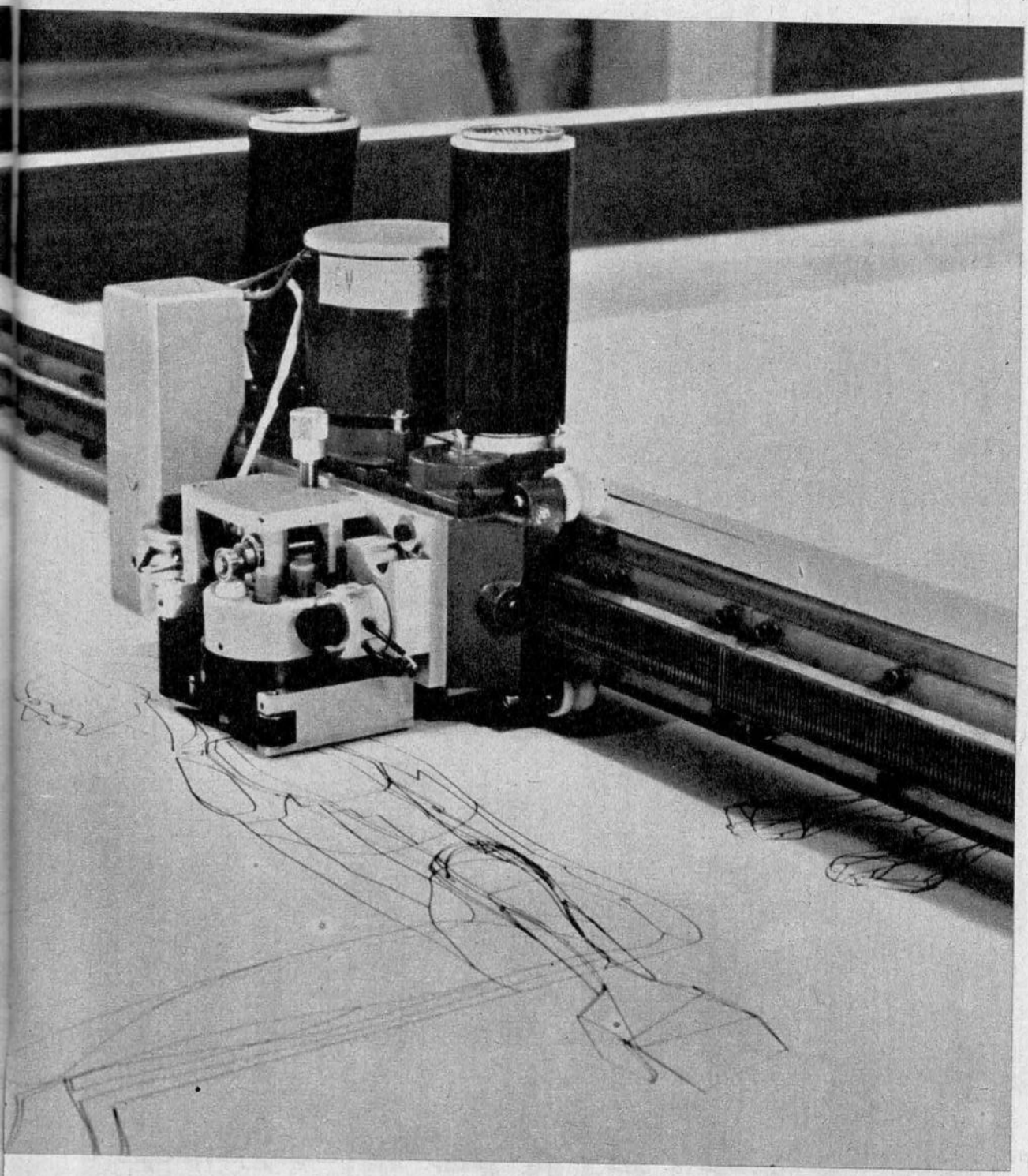
— la facilité avec laquelle on apprend à s'en servir ;
— la facilité que présente leur exploitation pratique.

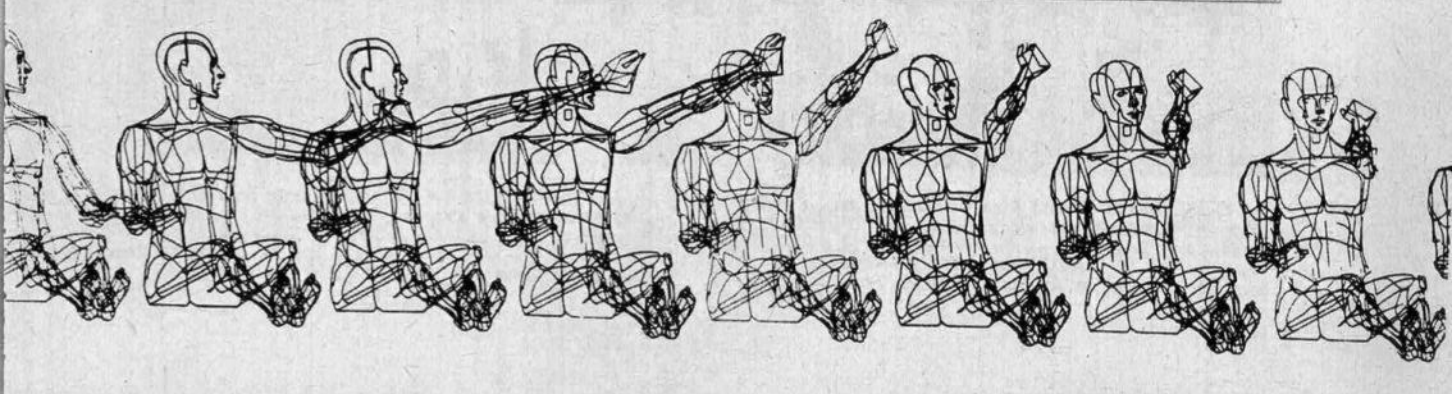
En effet, au cours des dernières années, des progrès qualitatifs considérables ont été faits dans ces deux domaines. Ils s'appellent langages orientés, temps partagé, utilisation à distance, visualisation numérique et graphique.

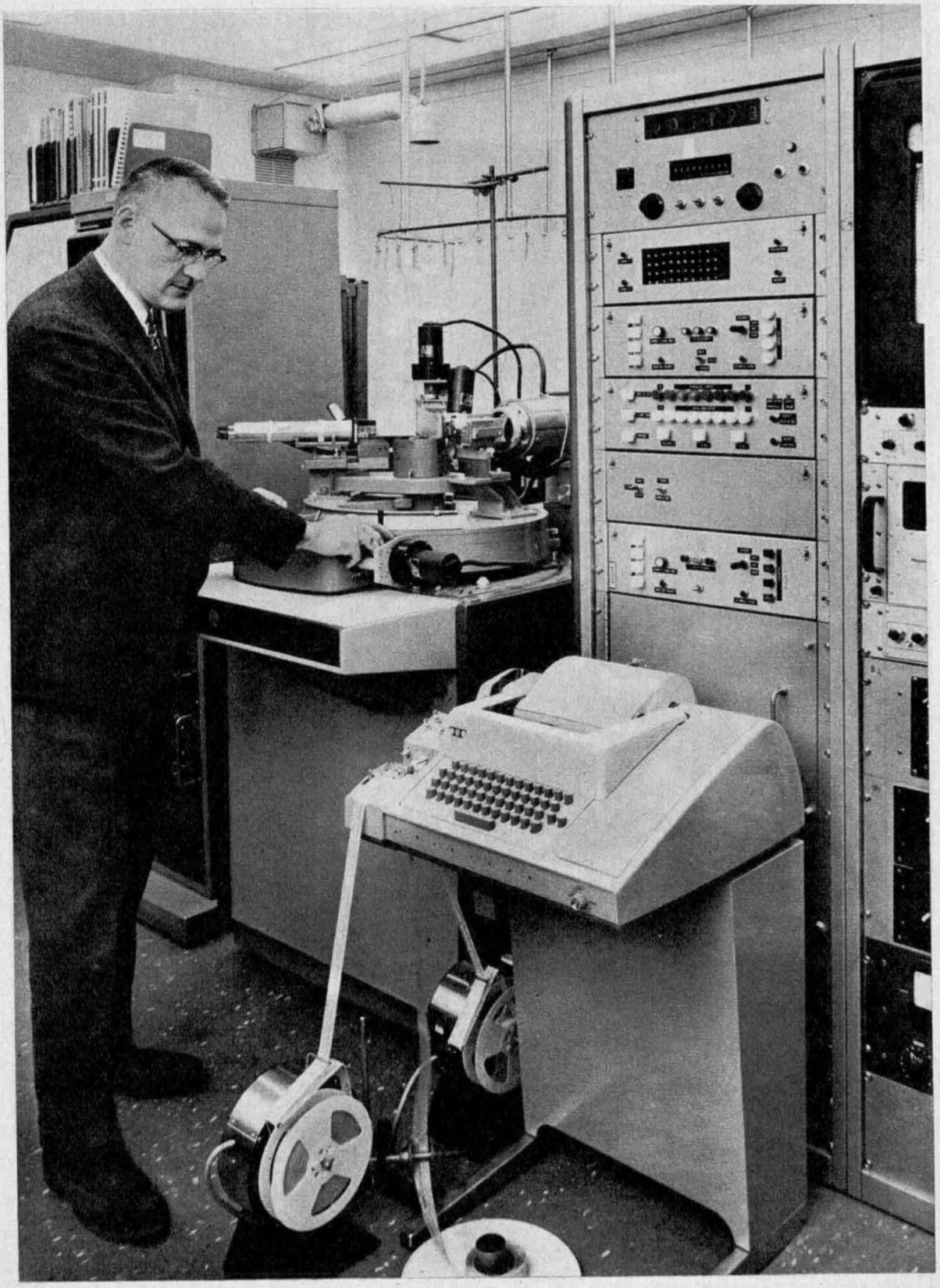
L'ordinateur apparaît maintenant comme le point commun des chercheurs et des in-

Croquis réalisés par un traceur automatique pour l'étude de l'habitabilité du cockpit d'un avion en projet. Un ordinateur convenablement programmé permet, aux usines Boeing, de vérifier sur des silhouettes animées réalistes comportant sept segments articulés que les instruments de pilotage sont aisément accessibles, en particulier ceux qui doivent être atteints sans peine en cas de manœuvre d'urgence. Ainsi se trouvent économisés les délais et les frais de construction de nombreuses maquettes en vraie grandeur, pour déterminer la position optimale des sièges et celle des commandes en fonction de la taille variable des navigants.

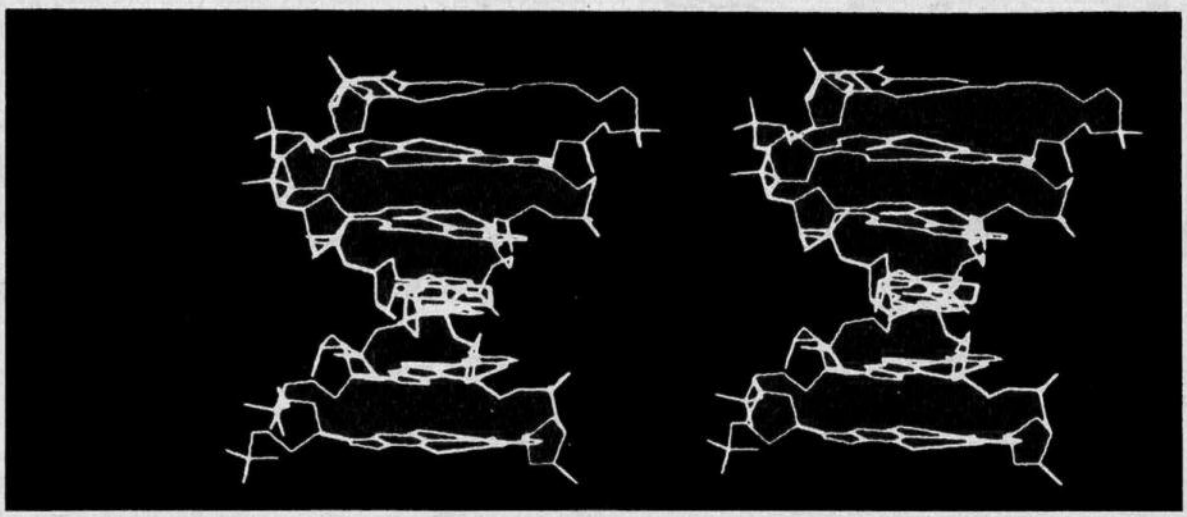








Au National Bureau of Standards (U.S.A.), l'enregistrement automatique des réseaux de diffraction d'un cristal aux rayons X. Celui-ci est monté sur la table centrale où des servo-moteurs, commandés par les perforations de la bande visible au premier plan, le font tourner autour de trois axes rectangulaires. Les données des réseaux de diffraction sont recueillies par l'analyseur à droite et enregistrées automatiquement sur une autre bande perforée pour leur dépouillement ultérieur par ordinateur.



génieurs dans tous les pays du monde et dans toutes les langues. Les mathématiques constituaient déjà le langage commun de très nombreuses sciences et activités technologiques, mais on peut dire que le langage des calculateurs est beaucoup plus universel encore puisqu'ils peuvent être également utilisés pour la recherche documentaire, la traduction automatique des langues, etc.

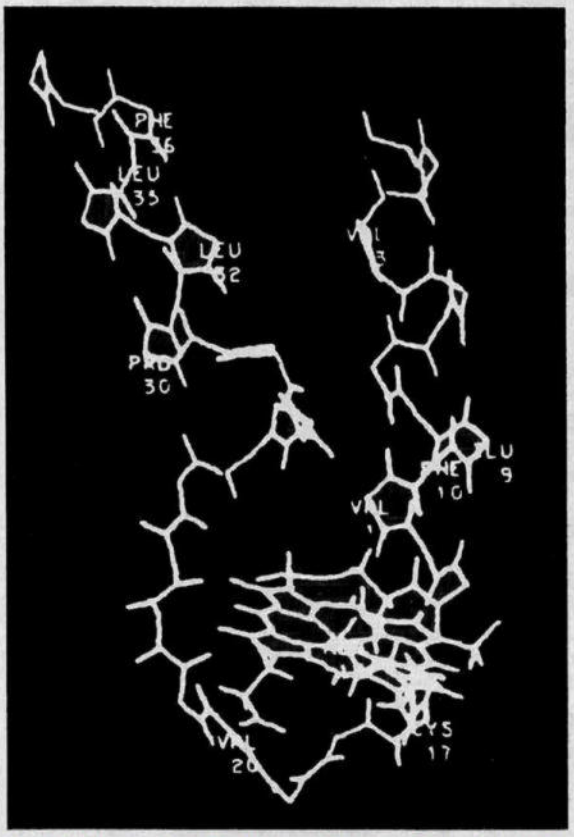
Non seulement le calculateur est devenu un outil indispensable pour la recherche et le développement dans tous les domaines, mais on peut dire que très bientôt tout créateur sera capable de penser en collaboration directe avec un ordinateur. Il pourra dire « mon partenaire la machine ». Si la fascination intellectuelle qu'exerce une calculatrice puissante et rapide sur son utilisateur risque certes d'engendrer chez lui une certaine confusion entre les moyens et la fin, elle constitue également une motivation irremplaçable.

LES DEUX ASPECTS DE L'ORDINATEUR

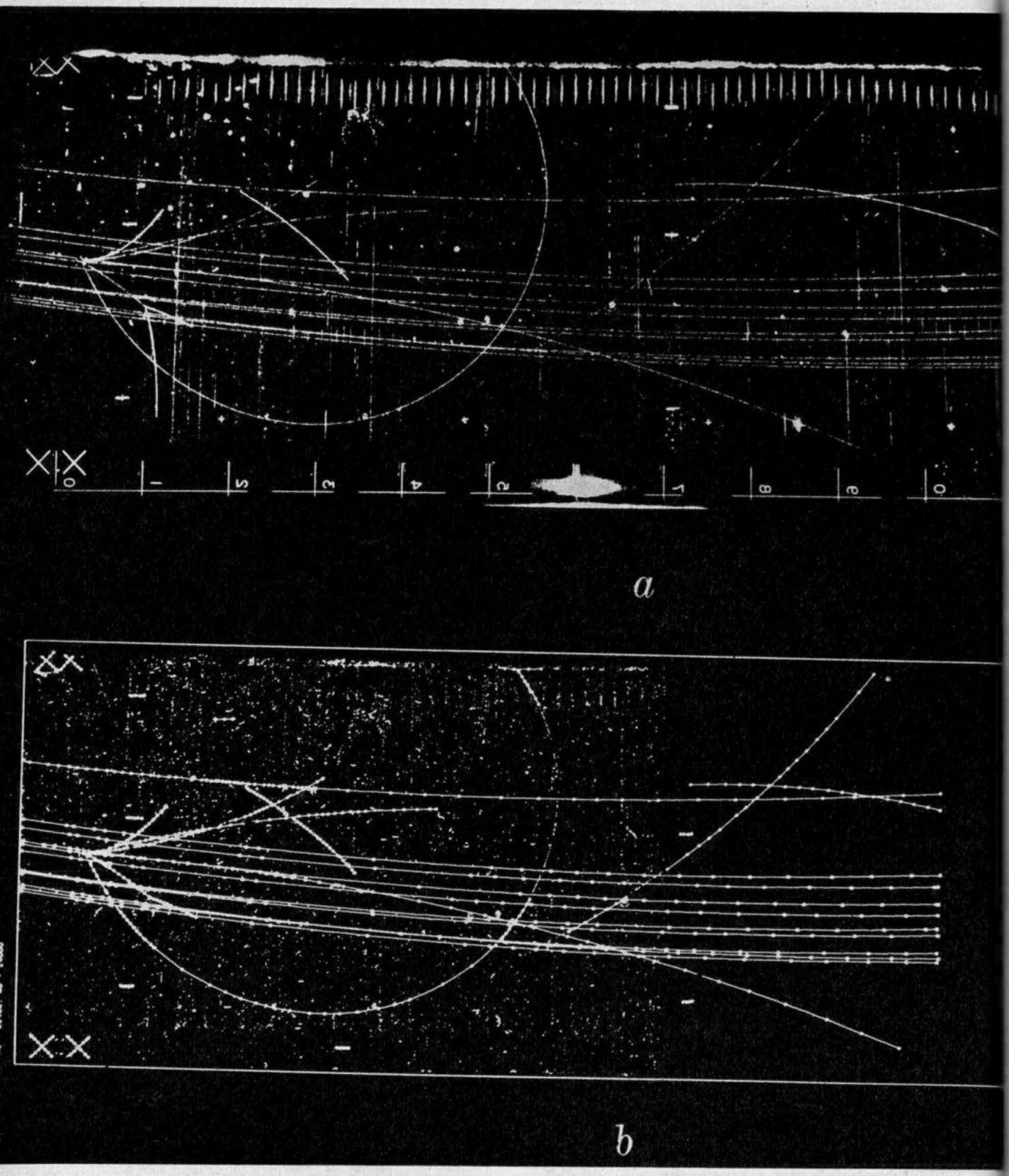
L'utilisation des ordinateurs en recherche scientifique et en technologie revêt deux aspects : dans l'un, l'ordinateur est un outil ; dans le second, il devient un acteur, et même un partenaire.

Sous ces deux aspects, le succès des calculateurs tient à des facteurs purement économiques. Les calculs effectués sur ordinateurs évitent souvent de nombreuses expérimentations et c'est pourquoi ces machines ont provoqué un mouvement vers le calcul dans des domaines nombreux où l'expérience et la mesure directe étaient seules pratiquées jusqu'alors.

Les applications de l'ordinateur en tant qu'outil sont celles où il exécute un pro-



Un modèle de la structure d'une molécule de cytochrome C projeté sur l'écran d'un oscilloscope. Les densités électroniques ont été déterminées par diffraction des rayons X, dont un ordinateur a converti les mesures pour fournir cette représentation graphique au laboratoire de Cyrus Levinthal au Massachusetts Institute of Technology. A volonté, l'ordinateur peut faire tourner cette image dans l'espace pour la présenter suivant toutes les orientations. En haut de la page, un couple d'images stéréoscopiques obtenues par un procédé analogue montrant la structure moléculaire de l'acide désoxyribonucléique (ADN).



a

b

En haut (a) un cliché obtenu dans une chambre à bulles montrant les interactions de particules élémentaires. Il est exploré par balayage transversal et un calculateur convenablement programmé associe les points rencontrés pour retracer en bas (b) les trajectoires identifiées et les traduire automatiquement et avec précision en coordonnées numériques. Lawrence Radiation Laboratory, Berkeley

gramme d'instructions avec peu ou pas d'intervention humaine ; leur utilisation dans ce sens est à l'heure actuelle parfaitement établie.

Dans la deuxième catégorie d'emplois, c'est-à-dire celle dans laquelle il devient un partenaire du chercheur ou de l'ingénieur, le calculateur peut jouer un rôle actif dans le développement des théories scientifiques ; c'est probablement par là qu'il exercera son action la plus profonde sur la science. Une théorie physique exprimée dans le langage des mathématiques prend un aspect dynamique lorsqu'elle est ré-écrite dans le langage d'un calculateur ; on peut alors explorer sa structure interne, la confronter avec des données expérimentales et interpréter ainsi ses implications beaucoup plus aisément que lorsqu'elle est représentée sous forme statique.

Lorsque l'ordinateur est utilisé de façon traditionnelle, il agit exactement selon les instructions qu'il a reçues, ce qui ne veut pas dire que la machine ne peut pas ainsi accomplir des travaux impressionnants ; ses programmes peuvent être très élaborés, si complexes et volumineux qu'aucun être humain ne pourrait envisager d'accomplir le même travail, quel que soit le temps qu'il y consacre. En obéissant aux instructions, un ordinateur peut adapter ses opérations aux variations de paramètres aussi nombreux qu'on le désire et apparaître ainsi doué d'une intelligence adaptative. Cependant, la machine agit toujours comme un automate. Bien que complexe, son comportement reste mécanique et prévisible.

Ce n'est plus le cas lorsque le calculateur se présente comme un partenaire de l'homme, chacun exécutant les tâches pour lesquelles il est le mieux fait. L'homme est inventeur, créateur et organisateur d'idées, capable d'association entre des notions apparemment sans relation entre elles, capable de noter des détails d'apparence triviale et de mettre en valeur leur véritable importance dans un phénomène. Mais il est aussi imprévisible, imprécis, distrait, capricieux, émotif. L'ordinateur est à peu près exactement ce que l'homme n'est pas : il peut prendre en compte une quantité illimitée de détails ; il n'est jamais distrait ; il est précis et sûr ; il n'a ni émotion, ni ennuis, ni fatigue ; il obéit toujours ; il se souvient parfaitement, sauf lorsqu'on lui dit d'oublier, et dans ce cas, il oublie totalement et instantanément.

Ainsi donc, lorsque l'homme et la machine travaillent ensemble, les défauts de chacun sont compensés par les qualités de l'autre et les possibilités d'une telle association sont immenses. La démarche heuristique de l'homme, c'est-à-dire celle du chercheur devant un problème, et les capacités illimitées de traitement algorithmique de l'ordinateur s'entrelacent et constituent une source d'inventions, de découvertes, et de développements inépuisable.

L'ORDINATEUR ET LA STRUCTURE DES PROTÉINES

Le rôle des calculateurs comme instrument de recherche peut être facilement illustré en montrant comment on peut passer d'un ensemble d'observations brutes à des représentations intuitivement intelligibles, dans le domaine de la cristallographie, par exemple. Pour la détermination de la structure des macromolécules de protéines, en particulier, la puissance de calcul nécessaire à l'analyse des données cristallographiques est si grande que les progrès récents dans ce domaine ont été directement proportionnels à l'augmentation de la puissance des calculateurs électroniques.

Si l'on bombarde un cristal de protéines par un faisceau de rayons X, les rayons diffractés par le cristal produisent sur une plaque photographique des configurations caractéristiques de taches claires. La mesure des positions et des intensités relatives de ces taches fournit les données de base pour le calcul de la distribution des électrons dans la molécule, à partir de laquelle on dresse un modèle tridimensionnel. Dans cette étude, de nombreuses opérations peuvent être automatisées. Des machines peuvent traduire directement sous forme numérique (on dit « digitale ») les positions des taches lumineuses et leurs intensités et les inscrire sur un support d'entrée quelconque pour traitement dans un calculateur. Les résultats peuvent être directement visualisés sur un oscilloscope montrant une image de la structure moléculaire. Toutes ces opérations sont répétées pour des orientations différentes du cristal exposé aux rayons X.

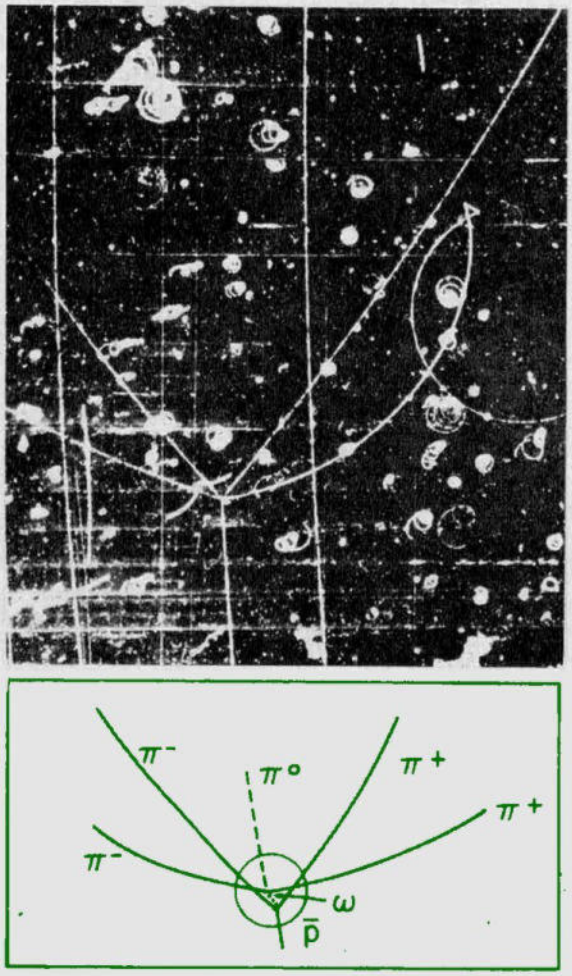
L'ORDINATEUR ET L'ÉTUDE DES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

Un autre exemple d'utilisation de l'ordinateur comme instrument de recherche est la lecture des photographies prises dans les chambres à bulles pour l'étude des particules élémentaires. Cette application constitue en fait une transition entre « l'ordinateur-outil » et « l'ordinateur-partenaire ».

Le problème est le suivant : des protons ou autres particules énergétiques viennent « vivre » un court instant (un millionième ou milliardième de seconde) dans une enceinte où s'inscrivent photographiquement, sous

forme de trajectoires claires sur fond sombre, les événements qui affectent leur existence : collisions donnant naissance à de nouvelles particules, courbure de leurs trajectoires dans un champ magnétique, etc. Dépouiller ces photographies, c'est relever les coordonnées d'un certain nombre de points qui serviront à reconstituer une image des trajectoires dans l'espace ; c'est sur cette image enfin que seront exécutés les calculs physiques.

Dans un centre de recherches nucléaires, le nombre de photographies à dépouiller peut atteindre plusieurs centaines de mille par an. L'Institut de Physique Nucléaire de la Faculté des Sciences de Paris s'est doté pour ces dépouillements d'un outil original : onze postes de mesure travaillant en ligne avec un ordinateur de moyenne puissance, lui-même relié à une plus grosse machine. Chaque poste se compose d'une table, actionnée par un opérateur appelé mesureur qui peut envoyer directement en mémoire du calculateur les coordonnées cartésiennes des points relevés le long d'une trace, et d'une machine à écrire également connectée au calculateur. A chacune des étapes de la mesure, l'opérateur et le calculateur échangent un dialogue au moyen de la machine à écrire : le premier pour indiquer essentiellement l'accomplissement d'une manœuvre, le second portant sur cette manœuvre un « jugement » qui se traduit soit par la demande d'une remesure, soit par l'autorisation de poursuivre. Dans tous les cas, le programme enregistré dans le calculateur ordonne, le mesureur suit ses instructions à sa vitesse propre. La fin d'un cycle de mesure se traduit par l'envoi des données stockées en mémoire à une autre machine, beaucoup plus puissante, seule capable d'effectuer les calculs physiques dont nous parlions plus haut.

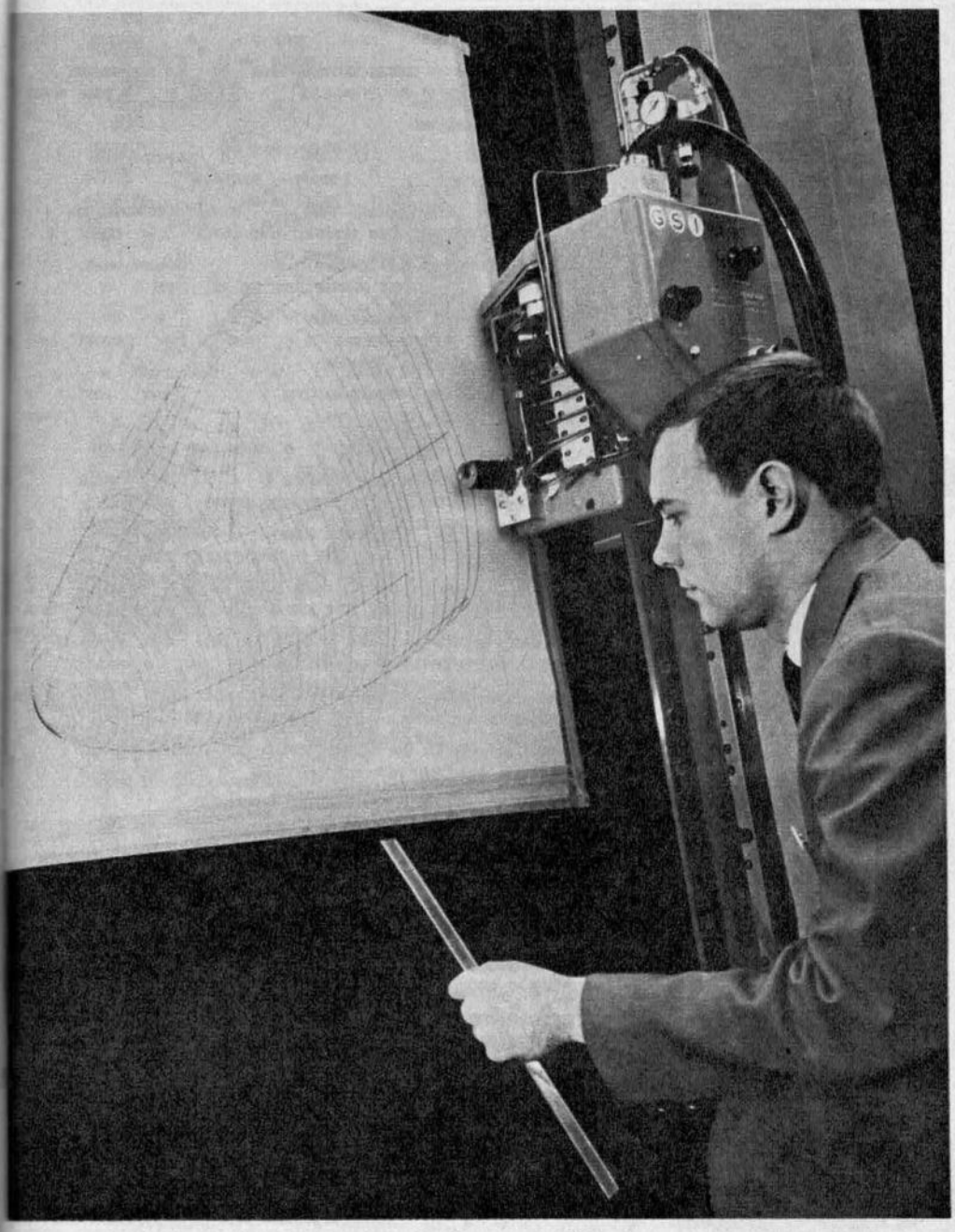


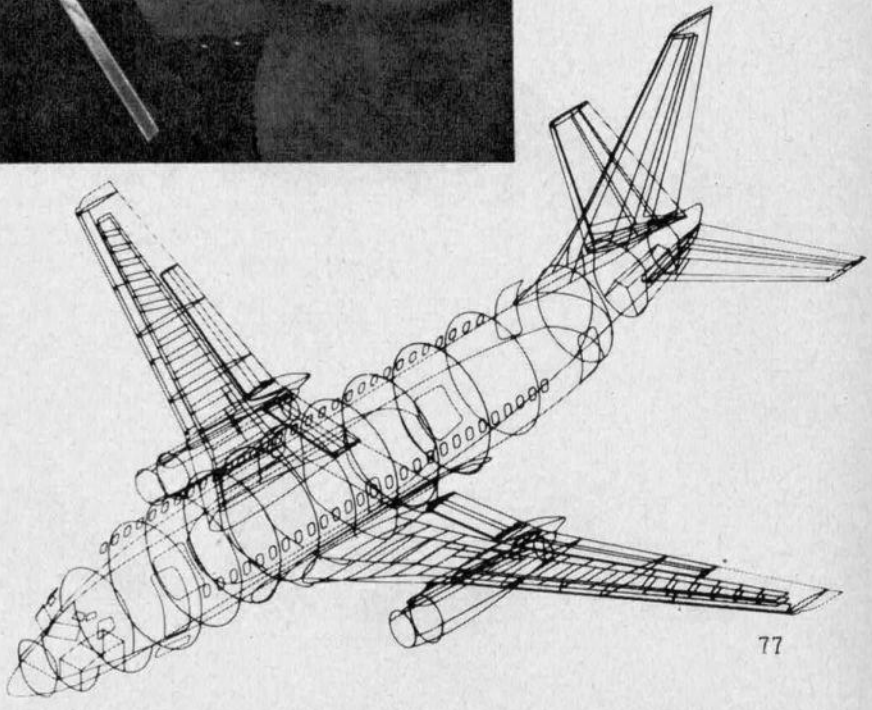
La découverte du méson oméga au Lawrence Radiation Laboratory de l'Université de Californie. On voit un petit fragment d'une photographie prise dans la grande chambre à bulles à hydrogène liquide de 1,80 m. Engendré par le Bévatron de 6,2 MeV, un antiproton passe au voisinage d'un proton et s'annihile en donnant une « étoile » à quatre branches, traces de pions positifs et négatifs. Une analyse détaillée et la détermination numérique des trajectoires par un calculateur IBM 709 a montré qu'en fait, comme le montre le croquis fortement agrandi, les deux branches latérales de l'« étoile » sont dues à la décomposition secondaire d'un méson (le méson oméga) émis lors de l'annihilation, de vie brève et donnant, conformément aux prévisions de la théorie, deux pions de charges opposées et un pion neutre, celui-ci non visible parce qu'il ne porte pas de charge électrique.

Considérons maintenant l'installation complète, avec ses onze postes. Chaque unité de mesure travaille comme il est décrit plus haut, de façon parfaitement indépendante. Le calculateur, mille fois plus rapide que le mesureur humain, scrute en permanence chaque voie d'échange et « sait » à chaque instant à quelle étape de la mesure qui lui est affectée se trouve chaque table. Le programme peut donc gérer chaque poste en donnant à son opérateur l'impression qu'il est seul à utiliser la machine. Les avantages de ce système résident moins dans l'accroissement de la vitesse de mesure (toujours limitée par l'homme) que dans l'abaissement spectaculaire du nombre de mesures perdues à cause d'erreurs. La possibilité de reprendre une mesure erronée, à chaque étape, et sans attendre que l'interprétation physique vienne, tout au bout de la chaîne, invalider le résultat, a permis de passer de 50 % de mesures rejetées à moins de 20 %, ce qui est considérable eu égard au nombre de mesures à effectuer.

L'ORDINATEUR ET L'INGÉNIEUR

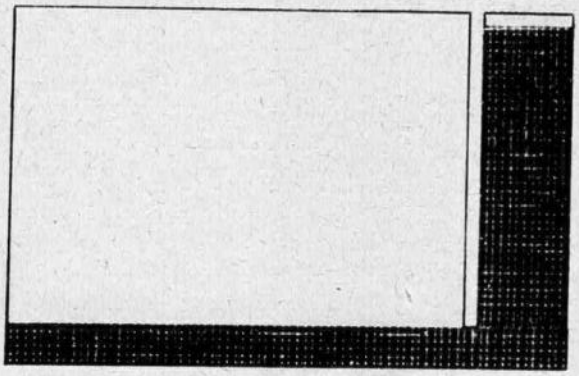
En ce qui concerne les applications technologiques du calculateur-instrument, on peut dire que son emploi est pratiquement général dans tous les domaines. Il est devenu un indispensable moyen de calcul rem-

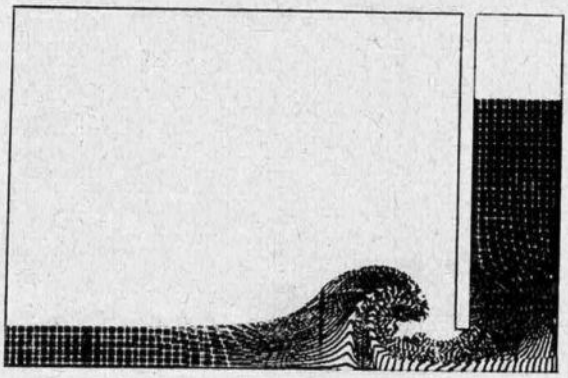


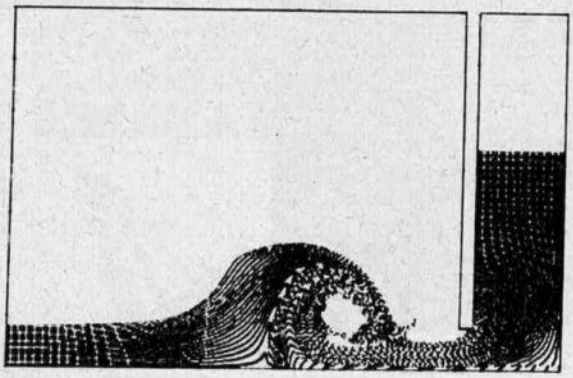


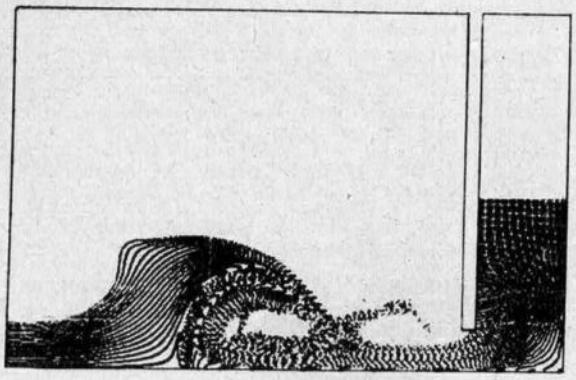
Aux usines Boeing de Wichita, aux États-Unis, la Division des modèles utilise un traceur automatique de courbes pour étudier les formes complexes des fuselages suivant diverses perspectives réalisées à partir de projections orthogonales sur trois plans rectangulaires. Les coordonnées des points principaux sont stockées sous forme numérique dans un ordinateur qui les traite et prépare une bande pour le traceur automatique. On voit ici deux exemples d'application de ce procédé, à droite pour le biréacteur 737 pour étapes courtes, en haut pour la partie avancée de l'avion « jumbo-jet » 747.

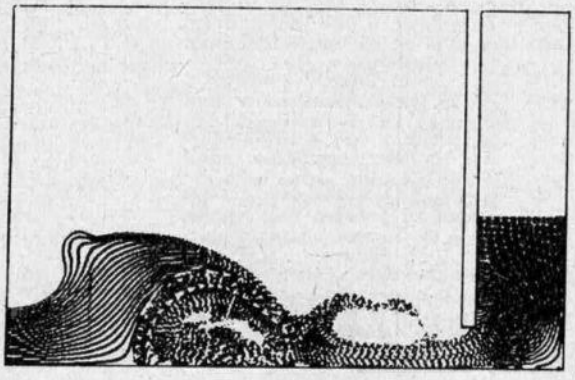
Une expérience de simulation, par ordinateur IBM 7030 du Los Alamos Scientific Laboratory, de l'ouverture brusque de la vanne d'un réservoir devant un bassin d'eau tranquille. Cette série d'images montre la naissance et le développement de la vague soulevée par le flot et qui, commençant à déferler, va finalement s'écraser sur le mur rigide du fond du bassin.







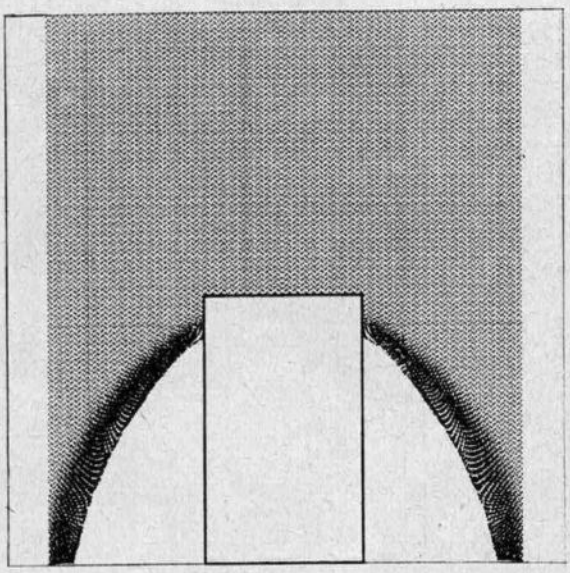


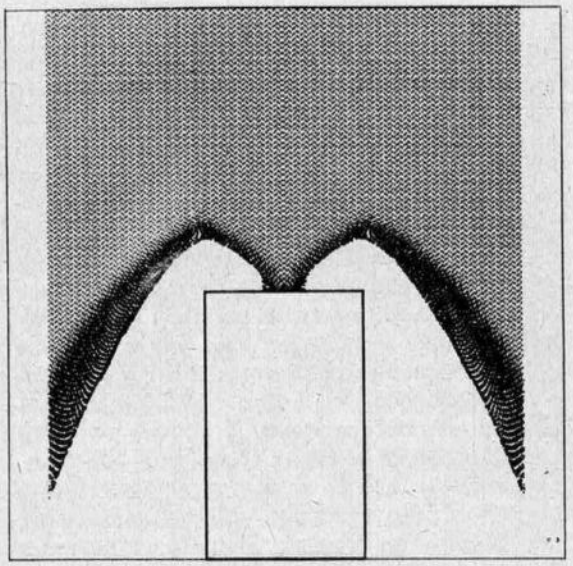


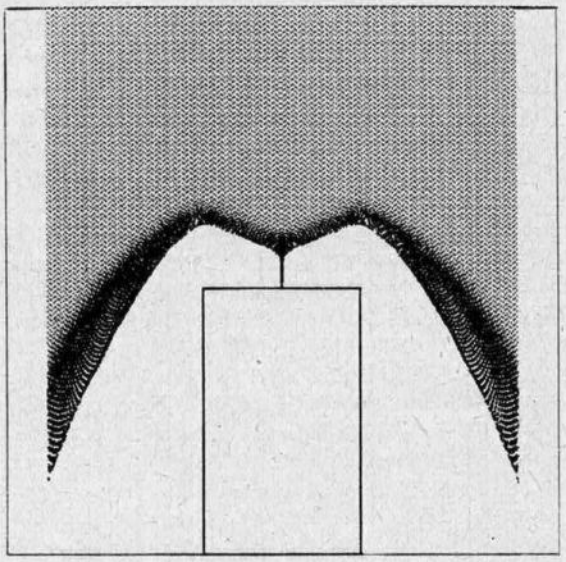
plaçant la table de logarithmes (car la règle à calcul, elle, survivra). La liste des activités technologiques dans lesquelles on le trouve serait trop longue pour être donnée ici de façon exhaustive.

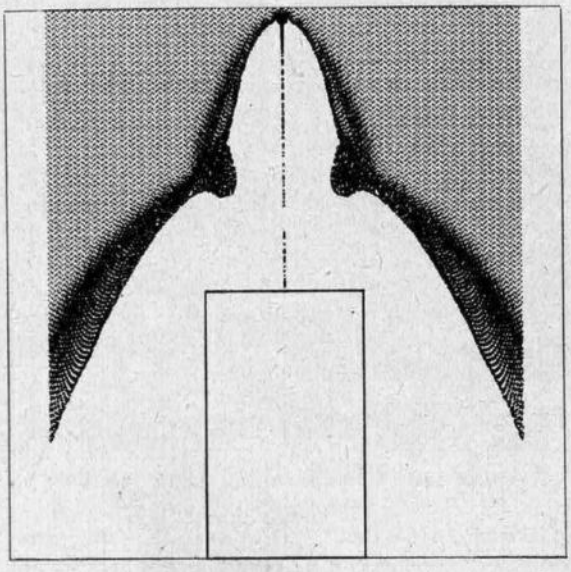
On utilise les ordinateurs en particulier pour calculer les réacteurs d'avion, définir des fuselages, calculer des ponts et ouvrages d'art, déterminer les tracés d'autoroutes, calculer des barrages, construire des aéroports, des immeubles, des centrales électriques, nucléaires ou conventionnelles, pour calculer des réseaux de distribution. On les utilise pour définir la forme des coques des navires, construire des « pipe-lines », étudier les problèmes de circulation et de transport, pour préciser la position et les caractéristiques des nappes pétrolifères ou gazéifères, pour calculer l'échauffement des vaisseaux spatiaux à la rentrée dans l'atmosphère, comme pour définir de nouveaux produits en chimie industrielle. On les utilise également maintenant, et ce n'est pas la moindre de leurs applications, pour définir les nouvelles générations de calculateurs.

Des progrès considérables ont été faits afin de permettre aux ingénieurs d'utiliser facilement les calculateurs par l'intermédiaire de langages spécifiques. Ceux-ci permettent d'exprimer les problèmes sans nécessiter une connaissance approfondie du calculateur, et de faire exécuter les programmes sur des machines quelconques. Ces langages spécifiques ne doivent pas être confondus avec les langages de base tels que FORTRAN ou COBOL. Ils sont en effet encore beaucoup plus éloignés du code d'instruction interne des calculateurs que ne le sont FORTRAN ou COBOL ; ce sont des langages « orientés-problèmes », utilisant de véritables phrases, de telle sorte qu'un ingénieur comprendra à la simple lecture un programme écrit par un autre aussi bien que si on lui soumettait l'énoncé du problème. Ces langages sont très nombreux et portent des noms barbares : COGO, CONSTRUCT, STRESS, CEPS, FRAN, ICES, APT, etc.







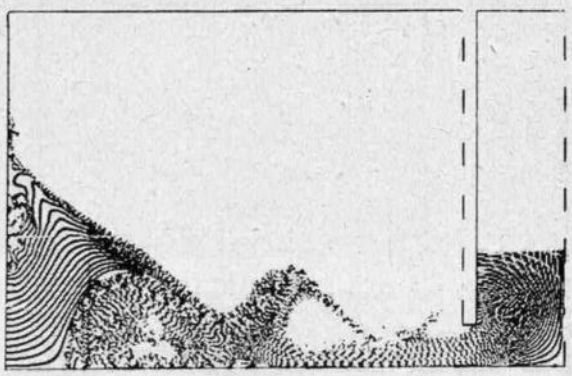


Au Los Alamos Scientific Laboratory, aux États-Unis, Cook, Amsden et Butler ont utilisé un ordinateur pour étudier par simulation la dynamique d'un accélérateur de plasma. Cette série de quatre dessins montre l'évolution du phénomène autour de l'électrode centrale : onde de choc entraînée par le champ magnétique, sa diffraction par les bords de l'électrode, sa condensation dans l'axe sous forme d'un plasma dense à très haute température, sa fragmentation en un chapelet de « bulles ». Tout cela se passe en une infime fraction de seconde dans la réalité et s'étudie ici au ralenti.

Nous citerons ici trois exemples d'utilisation du calculateur-outil, non pas dans le domaine de la recherche et du développement dans lequel l'ordinateur n'intervient que comme un moyen de calcul, mais dans celui de la fabrication, pour en diriger ou contrôler les processus ou encore pour vérifier les produits fabriqués.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ORDINATEUR

Le premier exemple concerne la commande d'usines chimiques. Dans ce cas, le calculateur reçoit un nombre important de données lui permettant de diriger les processus de fabrication de façon à maintenir



la production et la qualité optimale des produits. Les variables intervenant dans un processus chimique, qui sont la température, la pression, la viscosité, le débit, sont combinées dans des relations complexes, généralement non linéaires. Par exemple, si dans une réaction déterminée, l'un des produits arrive en quantité insuffisante, il ne sert à rien que le calculateur décide de commander une ouverture supplémentaire de la vanne correspondante si cette vanne est déjà complètement ouverte ; dans ce cas, le calculateur doit être capable de prendre une autre décision. L'ordinateur doit donc être capable de recevoir des informations à partir de nombreux postes de mesure et pouvoir les comparer. En principe, il n'y a aucune limite au nombre des variables que le calculateur peut prendre en compte. Dans la plupart des cas, il serait impossible d'effectuer les mêmes contrôles par simple intervention humaine.

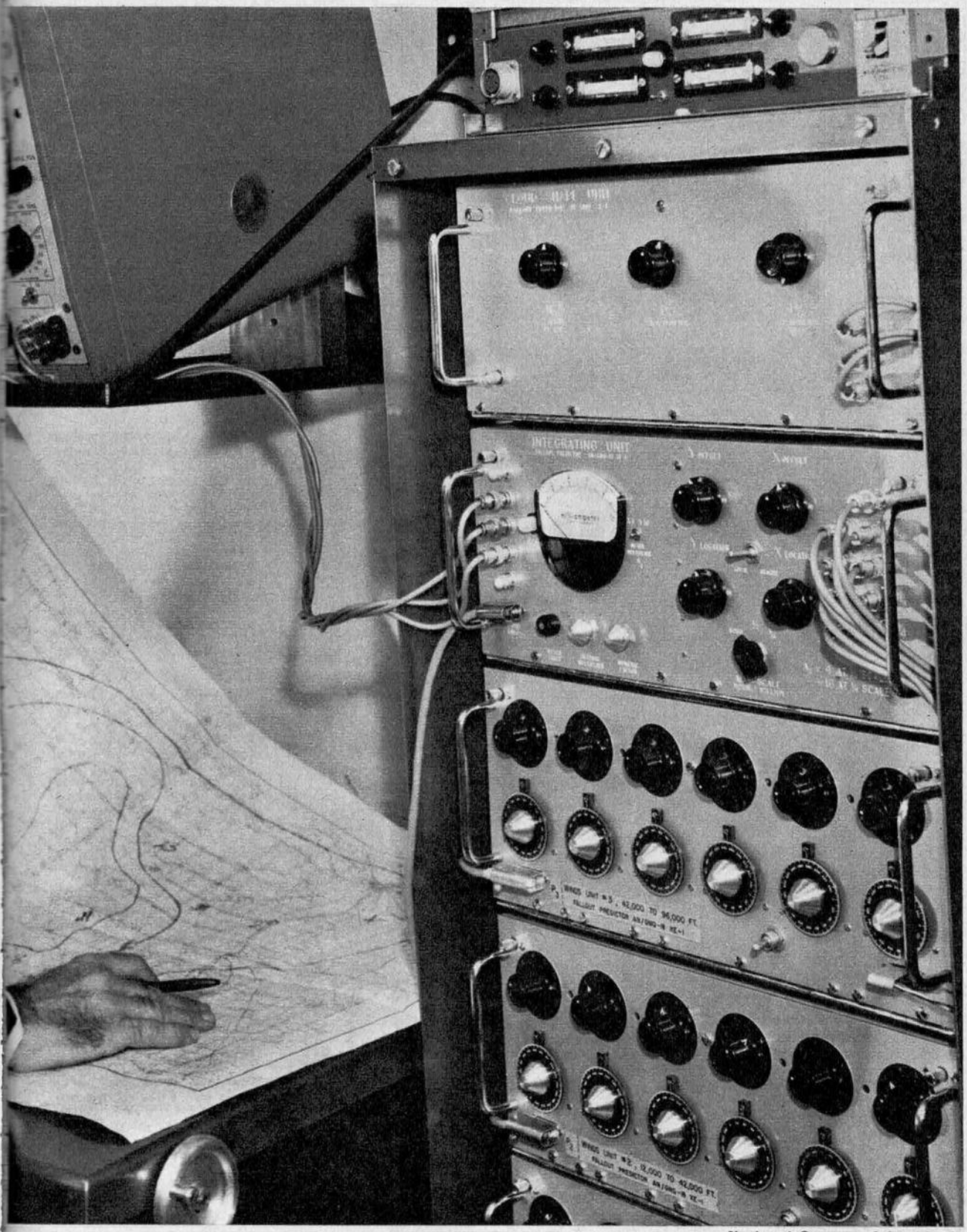
La commande numérique des machines-outils constitue une autre application industrielle des calculateurs. Dans ce cas, une machine-outil, destinée par exemple à découper une pièce d'une forme déterminée, n'est plus dirigée par un ouvrier, mais commandée automatiquement par un calculateur électronique. La machine peut ainsi effectuer des travaux qui seraient trop complexes, ou trop coûteux à effectuer de façon conventionnelle. L'utilisation d'un calculateur permet une plus grande précision, une plus grande sécurité et un plus grand rendement quelle que soit la complexité des pièces à usiner. Elle permet, entre autres exemples, de fabriquer en une seule pièce des éléments d'aile d'avion qui auraient nécessité l'assemblage de nombreuses pièces différentes avec toutes les contraintes de poids et les limitations de caractéristiques mécaniques que cela impose.

Le troisième exemple est la fabrication de circuits de commutation utilisés dans les calculateurs électroniques et leur vérification automatique. L'ordinateur peut ainsi commander le percement des plaquettes de support des composants, la vérification de la position et de la dimension de ces perforations, la mise en place des composants adéquats, et la vérification du fonctionnement de principe d'une partie ou de l'ensemble du circuit. Tout ceci avec une vitesse, une précision, une régularité et un rendement qui ne pourraient être atteints par le meilleur des ouvriers spécialisés.

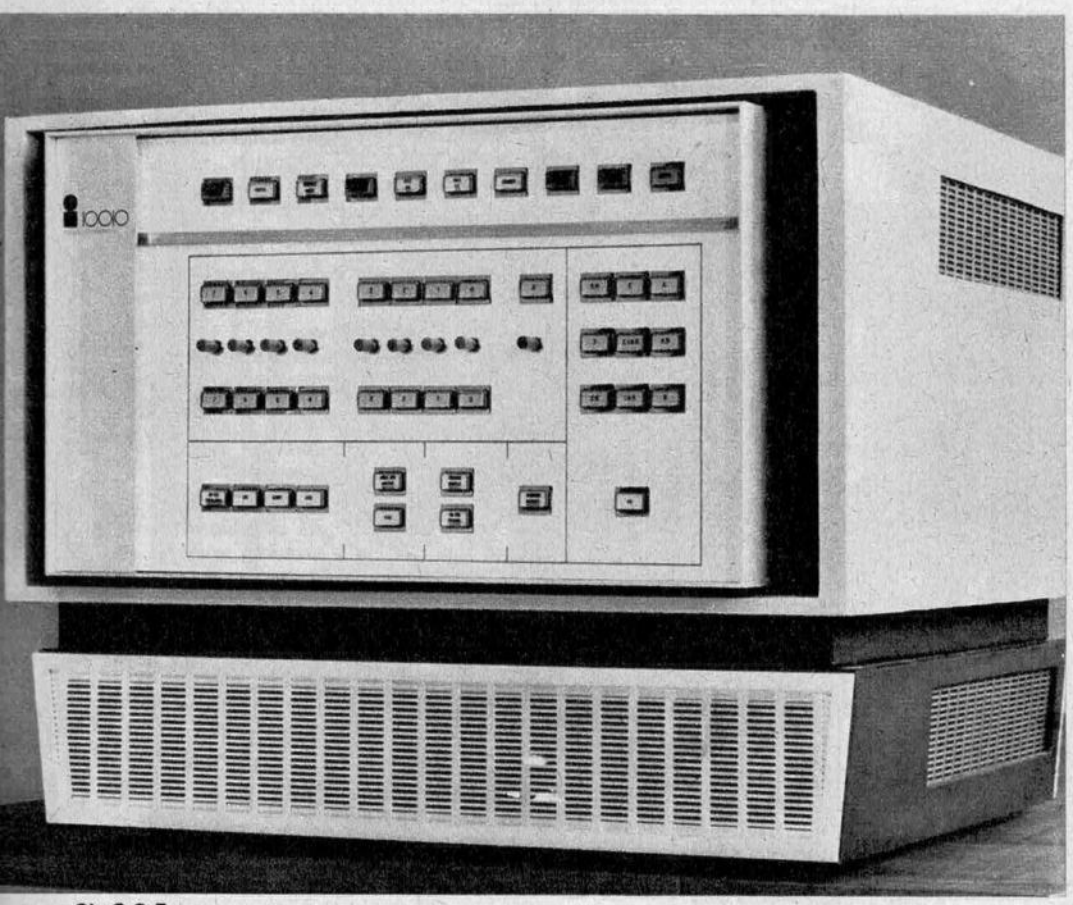
LE CALCULATEUR-PARTENAIRE

Dans le cas du calculateur-outil, il peut y avoir interaction entre l'ordinateur et les phénomènes physiques qu'il commande ou contrôle, et à la rigueur entre l'ordinateur et

Prédiction par ordinateur des retombées radioactives pour une explosion nucléaire expérimentale. Les vitesses des courants aériens à diverses altitudes et les caractéristiques nuageuses sont introduites directement dans la machine à l'aide des boutons.

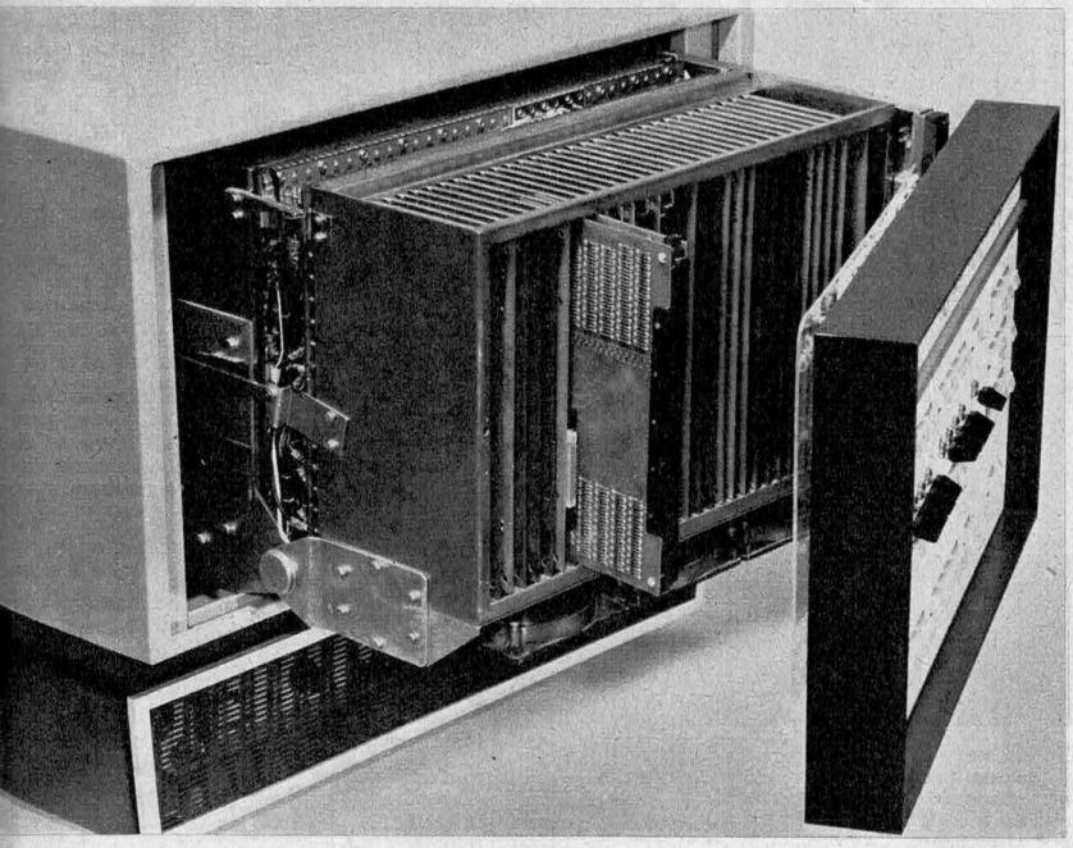


National Bureau of Standards



Cl. C.S.F.

L'ordinateur 10 010 de la Compagnie Internationale pour l'Informatique, basé sur la technologie à circuits intégrés et sur une mémoire à tores de ferrite, pour applications en temps réels, conduite de processus industriels et calculs scientifiques. La photographie en bas de page montre la facilité d'accès aux circuits internes, qui permet une grande rapidité de mise au point et de dépannage éventuel.

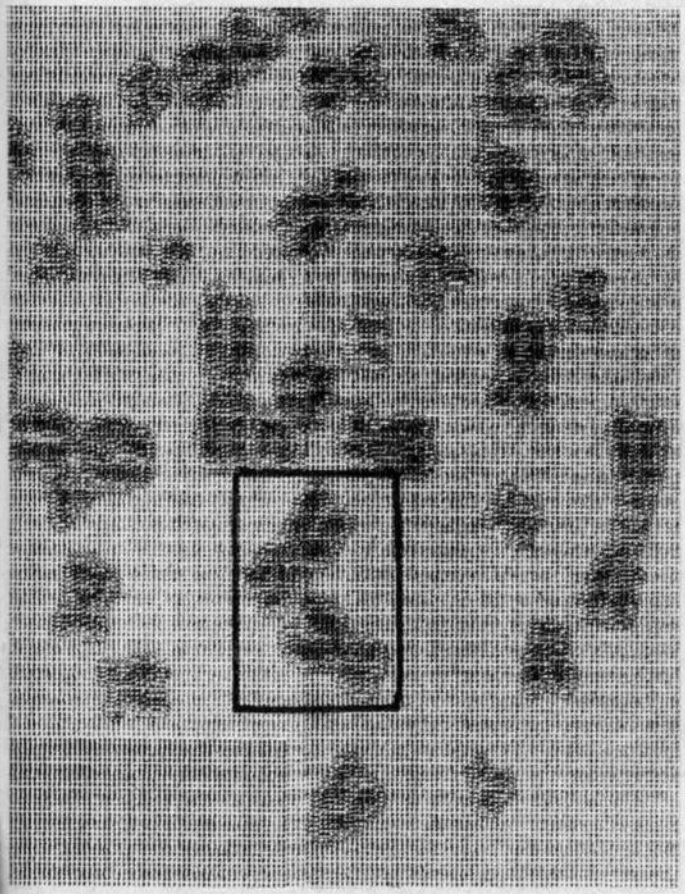


Un ordinateur Control Data 3200 équipe, à Monterey, en Californie, le centre de prévision du temps de l'U.S. Navy. Les informations collectées par de nombreuses stations météorologiques tant à terre qu'en mer, voire par satellites, lui fournissent les données concernant la pression barométrique, la température, la nébulosité, la vitesse du vent à diverses altitudes, les précipitations, la visibilité, la hauteur des vagues, etc., qui sont enregistrées sur bande magnétique. A raison de 500 000 opérations par seconde, les nouvelles observations sont comparées aux anciennes pour l'établissement automatique des prévisions sur les conditions météorologiques et océanographiques. Elles sont envoyées à tous les navires en opération et aux stations fixes sous forme de données et de cartes.

un opérateur lui obéissant. Dans le type d'applications que nous allons examiner, c'est entre le calculateur et l'homme pensant ou créateur (ingénieur ou chercheur) que l'interaction se produit.

Le premier obstacle à la symbiose homme-ordinateur se trouve en voie de solution grâce à l'établissement de langages très spécialisés dont nous avons déjà mentionné l'existence. Ces langages, qui commencent maintenant à être véritablement « orientés-problèmes » ou encore « orientés-utilisateurs », par opposition aux langages de calcul proprement dits, sont faciles à apprendre parce qu'ils ressemblent aux langages parlés ordinaires. Dans certains cas, ils ne comportent même que très peu de notations mathématiques. Ils ne sont en fait qu'un « exposé » organisé des problèmes.

Le deuxième obstacle que l'on rencontre dans un dialogue homme-machine tient à la différence fondamentale de facultés entre l'homme et la machine. Pour exercer ses facultés de raisonnement heuristique, c'est-à-dire son expérience, son intuition et son génie propre, l'homme a besoin de temps. Il a même besoin de beaucoup de temps, si on le compare à ce que l'on appelle le temps pour un calculateur, c'est-à-dire la nanoseconde (1 milliardième de seconde). Il était donc nécessaire que la puissance énorme mise à la disposition du chercheur ne reste pas inutilisée chaque fois qu'il prend le temps de réfléchir entre deux opérations de traitement. Ceci implique qu'un même ordinateur puisse être utilisé simultanément par plusieurs utilisateurs qui se partagent son temps. Cette contrainte d'ordre



L'analyse des chromosomes par ordinateur permet l'étude rapide d'un grand nombre de noyaux cellulaires pour la détection des anomalies chromosomiques. On voit en haut une microphoto classique de chromosomes humains et, ci-dessus, une transcription numérique des formes et des indices d'opacité d'un tel lot par le calculateur, présentée sous forme d'une grille microphotographique dont une partie, correspondant au chromosome cerné par un rectangle, a été agrandie (page ci-contre). Ces images ont été obtenues à la National Biomedical Research Foundation de Silver Springs (États-Unis) à l'aide d'un ordinateur IBM 7094.

économique est maintenant résolue par l'apparition des systèmes en « temps partagé ».

Le chercheur, l'ingénieur, a également besoin de travailler au calme. Cette contrainte est maintenant satisfaite par la possibilité d'accès à distance à partir de stations d'entrée-sortie connectées au calculateur par lignes télétypes, télégraphiques, téléphoniques, faisceaux hertziens, câbles coaxiaux, etc.

Il est également nécessaire que les résultats puissent être présentés au chercheur de la façon la plus imagée possible afin qu'il s'en fasse rapidement une idée générale. Grâce à l'apparition des systèmes d'affichage numérique et graphique sur écran cathodique, il est maintenant possible de présenter les résultats sous forme de courbes, graphiques, schémas, de telle sorte qu'ils puissent être interprétés facilement. Il existe même des systèmes de visualisation sur écran permettant de représenter des objets dans l'espace en trois dimensions et d'obtenir des vues perspectives.

Tous ces progrès permettent une approche dynamique des études théoriques. Ils font véritablement pénétrer le chercheur à l'intérieur des modèles de simulation qu'il a élaborés pour en rechercher la structure fondamentale.

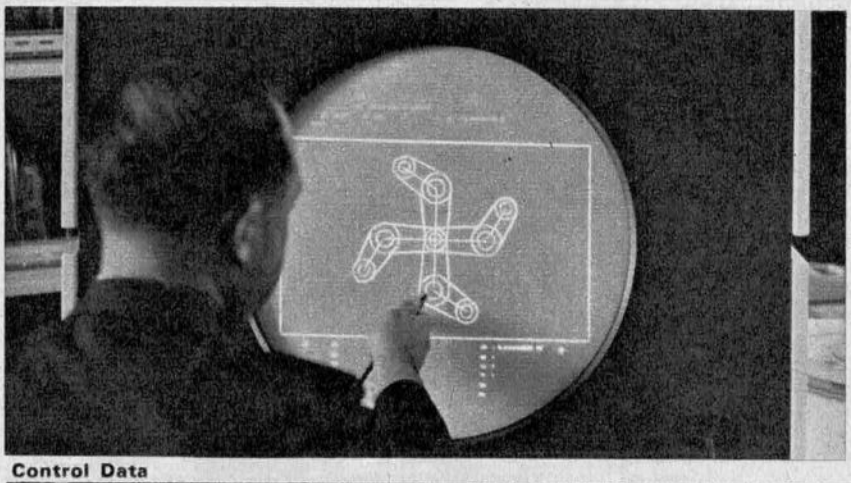
L'ORDINATEUR DANS L'ÉTUDE DES FORMES ET DES MOUVEMENTS

Dans le domaine technologique, on parle beaucoup à l'heure actuelle de « computer-aided design » (conception, élaboration assistée par un ordinateur). Bien qu'il s'agisse encore beaucoup plus d'une idée que d'une réalité, des travaux très importants sont en cours pour passer des théories à la pratique et certains résultats ont déjà été obtenus.

Dans de très nombreux domaines, la description géométrique des objets constitue un aspect fondamental. Les fuselages et les ailes d'avions, les carènes de navires, les carrosseries d'automobiles, constituent des formes complexes, longues à définir par des moyens conventionnels. Toutes sortes d'objets d'utilisation courante posent souvent des problèmes de forme, depuis le récepteur téléphonique ou le levier de vitesse d'automobile jusqu'au manche de casserole. Par ailleurs, se pose en mécanique le problème des positions réciproques des objets au cours d'un mouvement déterminé. L'utilisation des ordinateurs peut apporter une contribution extrêmement importante dans la définition et la description détaillée de ces formes et de leurs mouvements. L'ingénieur peut dessiner véritablement sur un écran de visuali-

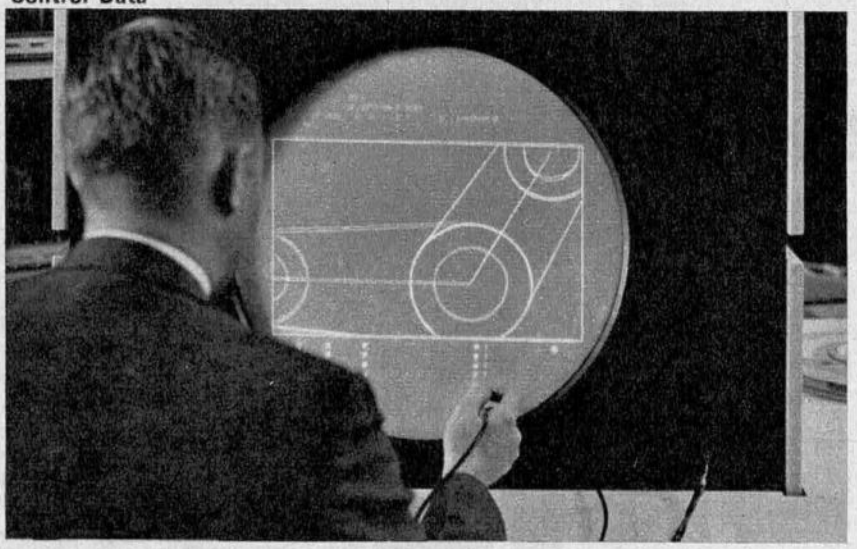
Cl. I.B.M.

Une étude de volume sur un écran de visualisation. L'opératrice introduit au « crayon lumineux » les éléments d'aménagement intérieur d'une maison en projet, vérifie 'eurs encombrements et leurs raccordements et apporte, par effacement et réinscription, les modifications qui se révèlent ainsi nécessaires.



L'image d'une pièce mécanique est projetée sur l'écran d'une console d'après le dessin qui en a été établi précédemment au bureau d'étude. L'ingénieur, qui peut modifier à volonté le grossissement pour mettre tel ou tel détail en évidence, suit au « crayon lumineux » les contours que devra parcourir l'outil de coupe de la machine à commande numérique qui la réalisera. L'ordinateur associé à la console traduit ce chemin en données numériques précises servant à la confection de la bande perforée qui commandera directement la machine.

Control Data

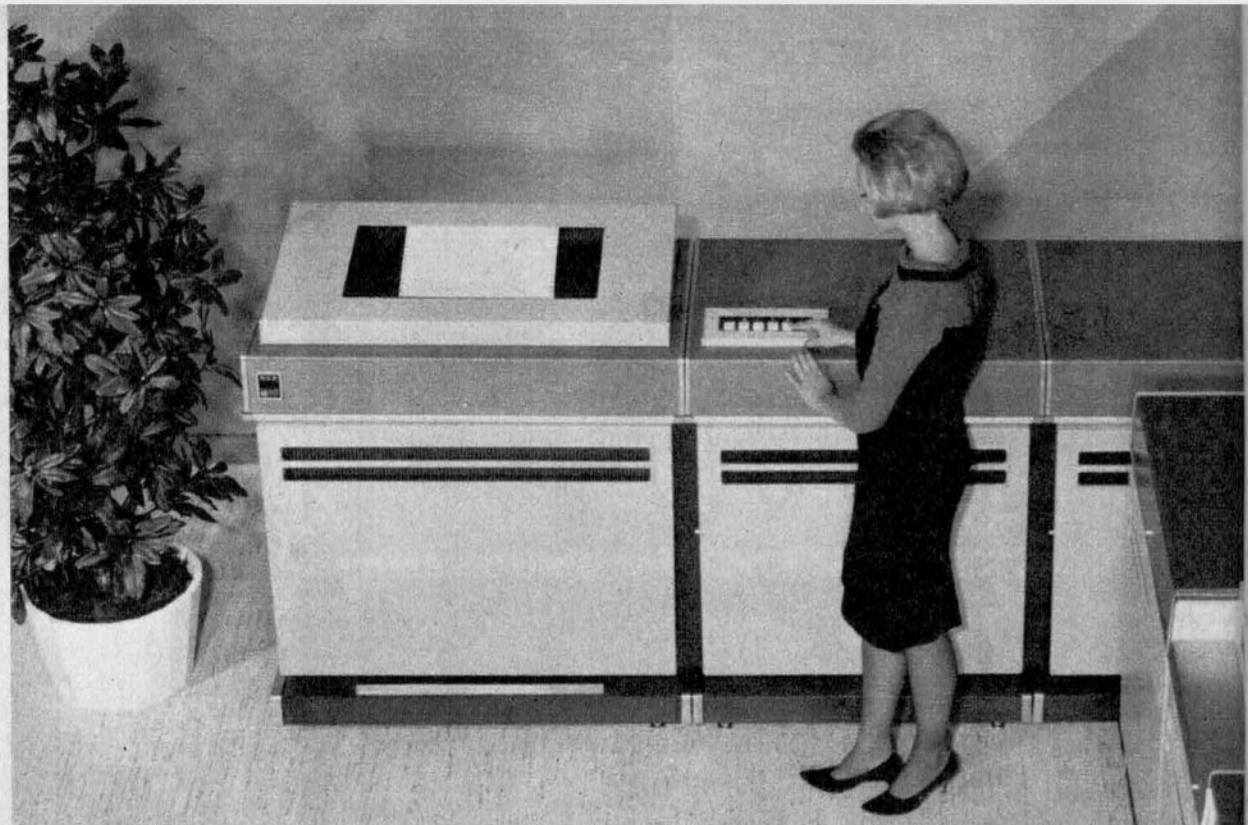


sation, le calculateur étant capable d'enregistrer immédiatement courbes et surfaces. Il peut également modifier des dessins déjà enregistrés dans les mémoires du calculateur ; il peut superposer des formes et des volumes, les inclure les uns dans les autres. Il peut observer directement sur l'écran le comportement d'une aile d'avion à l'intérieur d'une soufflerie. Il peut également s'assurer qu'un nouveau dessin de carrosserie permet effectivement de contenir le moteur et les différents organes mécaniques, etc.

Les possibilités dans ce domaine sont immenses et il est impossible même de les envisager toutes à l'heure actuelle. Le temps est proche où le dessinateur industriel lui-même abandonnera la planche à dessin pour dessiner directement sur l'écran de visualisation. Il pourra envoyer directement ses schémas dans une mémoire du calculateur qui pourra les restituer à la demande pour être modifiés avant d'être à nouveau réenregistrés ; ils pourront être transmis à distance vers les différents points d'utilisation où ils pourront être à nouveau modifiés et recentralisés. On peut déjà utiliser ces méthodes pour créer les circuits de commutation utilisés dans les calculateurs électroniques. Non seulement les formes et positions relatives des éléments peuvent être dessinées et les plans de fabrication automatiquement établis, mais on peut encore, dans le même temps, vérifier le comportement électrique du circuit ainsi défini.

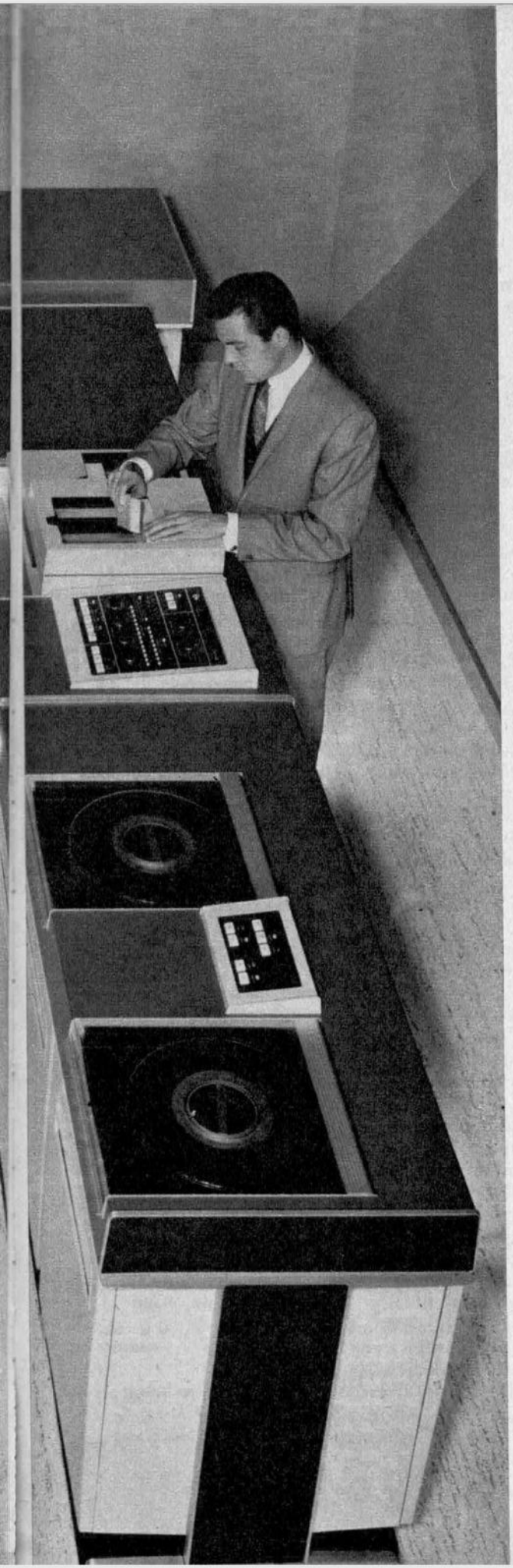
Il serait très long de donner la liste de toutes les Universités et Sociétés industrielles qui apportent une contribution importante à la réalisation de cet âge nouveau du calculateur. Citons cependant le M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), l'Université du Michigan, l'Université de Paris, le CNRS, et dans le domaine industriel, la General Motors, Ford, Motorola, Boeing, Douglas, Lockheed, Sud-Aviation, qui tous ont entrepris d'importants programmes de recherche et de développement. Beaucoup d'énergie et de talent sont ainsi dépensés pour qu'un jour l'interaction homme-machine devienne une réalité quotidienne.

Gérard BEAUGONIN



GESTION DES ENTREPRISES

Basé sur la technique des circuits intégrés,
le nouvel ordinateur NCR Century 100 comporte
une mémoire centrale ultrarapide à couches minces,
d'une capacité de base de 16 000 bits.
Deux mémoires à disques magnétiques à 72 têtes de lecture-écriture
(temps d'accès moyen 42 millisecondes)
assurent en particulier le stockage des données et résultats intermédiaires
en cours de traitement.
Le « software » comportera une large gamme
de programmes standards adaptés aux travaux financiers et de gestion.



La gestion des entreprises dans son sens le plus large est incontestablement le domaine majeur de l'informatique ; c'est aussi l'un des plus complexes et des plus fascinants.

Nulle part ailleurs peut-être ne se trouve pareille combinaison de bénéfices potentiels, d'idées révolutionnaires à promouvoir et à appliquer, de problèmes psychologiques à tous les niveaux, d'efforts à soutenir à long terme et aussi d'innombrables détails quotidiens, de problèmes de conception de systèmes complexes, de formation du haut en bas de l'échelle hiérarchique, de révision constante des concepts devant une irrésistible progression technologique qui déracine de jour en jour un plus grand nombre d'habitudes périmées.

Le problème essentiel de l'informatique dans l'entreprise, c'est l'homme :

— l'homme qui est au sommet, qui sait qu'il doit aller de l'avant, mais avec des idées vagues sur les buts à atteindre, les décisions a prendre et les vrais bénéfices à en retirer ;

— l'homme qui est au bas de l'échelle, qui depuis quinze ans met à jour des petites fiches en bristol rangées dans des tiroirs, qui sent confusément que tout va changer et se raidit désespérément contre une machine qui incarne pour lui l'« ennemi » ;

— l'homme qui pique des fiches sur ses tableaux de tabulatrice ou d'interclasseuse, qui se demande s'il pourra s'adapter au nou-

veau matériel, et qui n'est encore ni pour ni contre ;

— l'homme qui dirige un grand service, qui ne connaît rien à l'informatique mais ne pense pas en être gêné, dont la seule préoccupation est d'obtenir la contrôle de l'ordinateur et le garder sous sa coupe ;

— l'homme qui dirige le service du personnel, qui voit depuis quelque temps se présenter à l'embauche de tout jeunes gens réclamant des salaires « fabuleux » sous prétexte qu'ils ont programmé depuis deux ou trois ans et posant leurs conditions et prétentions ;

— l'homme enfin que le Président a longuement interviewé avant de l'embaucher à prix d'or pour être responsable du traitement de l'information ; il est expert, c'est-à-dire qu'il a déjà démarré un ordinateur (ou plutôt participé au démarrage) ; il voyait tous les jours des analystes et des programmeurs ; il est ingénieur et tout cela paraît autrement simple que des équations différentielles : additions, soustractions, moins souvent multiplications, presque jamais de divisions.

Voilà une entreprise qui va glisser vers des désillusions et qui viendra grossir, au moins pour un temps, les rangs des déçus par le « passage à l'ordinateur ». Et cela faute d'avoir accepté d'apprendre ce que peut apporter un ordinateur quand on sait le choisir en fonction des vrais besoins d'une entreprise et l'intégrer rationnellement à ses activités. Le fameux « *technological gap* » n'est rien à côté du « *management gap* ». Les machines les plus modernes sont disponibles. C'est le mode d'emploi qui manque.

PREMIER ACTE : LA MÉCANISATION

Dans l'entreprise, constituée d'un réseau complexe d'hommes et de machines, circulent deux flots différents : les produits d'une part, l'information qui les concerne d'autre part (commandes, factures, ordres de fabrication, bordereaux de livraison, règlements, etc.). L'ordinateur est au premier chef concerné par ce second flot (1) dont le débit et les ramifications vont en croissant en même temps que le raffinement et la complexité de notre société industrielle entraînent jour après jour l'apparition de problèmes plus sérieux pour l'entreprise : alourdissement des frais administratifs, augmentation des erreurs de toute nature, allongement des délais de circulation de monceaux de papiers, insuffisance des locaux devant la prolifération des employés de bureau, etc.

On se hâte donc de chercher dans cette foule de travaux une ou plusieurs tâches, bien délimitées pour être d'une appréhension plus facile, tâches de masse si possible, susceptibles d'occuper une partie appréciable du temps de l'ordinateur, telle que, par exemple, la facturation. C'est un réflexe bien naturel. Une fois ces tâches identifiées, selon des critères qui relèvent le plus souvent du hasard ou d'idées préconçues, les étapes suivantes se déroulent :

1° Analyse de la chaîne des procédures actuelles de traitement ;

2° Elaboration de la nouvelle solution en ordinateur ;

3° Découpage de la nouvelle chaîne en unités de traitement (désignées en abrégé par UT) ;

4° Analyse détaillée de chacune des UT ;

5° Programmation et mise au point des UT ;

6° Conversion : passage effectif au travail sur ordinateur ;

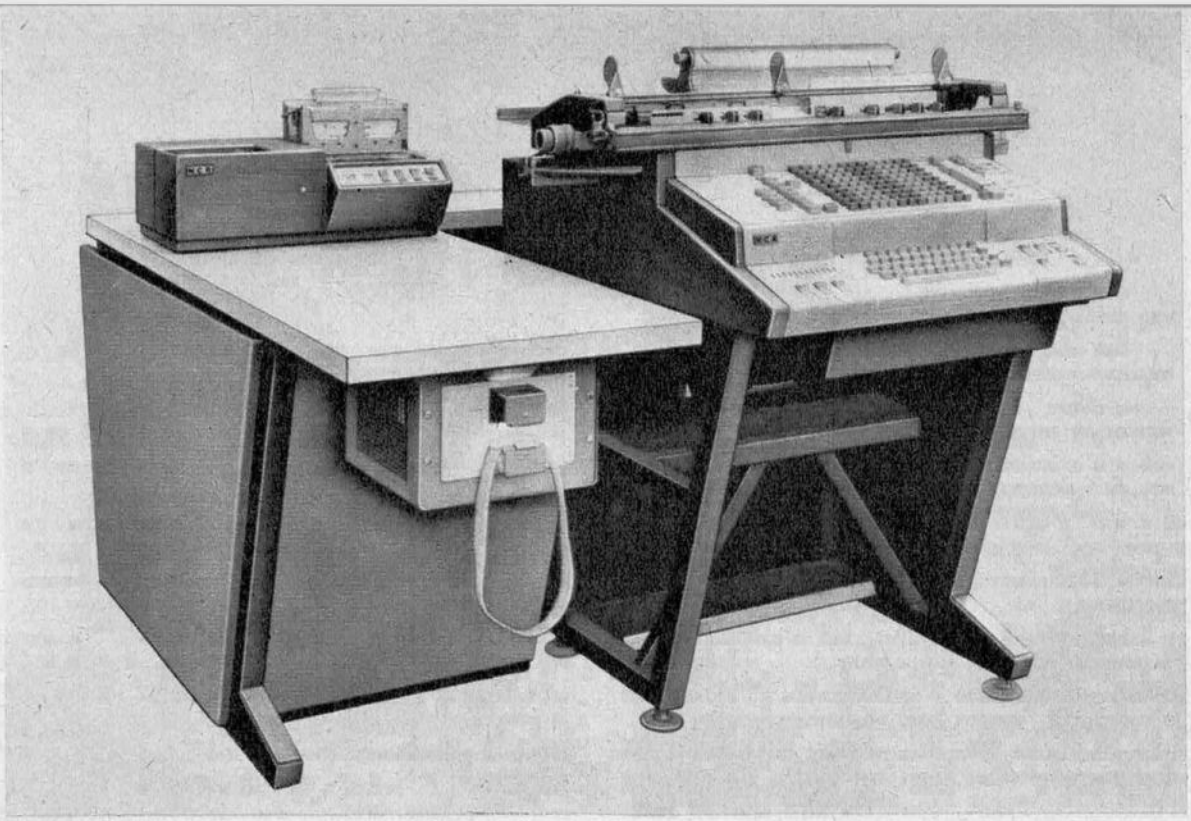
7° Entretien des UT.

Nous entrons maintenant vraiment dans le vif du sujet. En énumérant ces sept phases, que nous allons détailler car nous les retrouverons en totalité ou en partie à travers toute l'informatique de gestion, nous utiliserons nombre de termes nouveaux que nous expliciterons.

Mais tout d'abord, une première remarque : il manque une phase antérieure, la phase « zéro », d'importance fondamentale, qui détermine à elle seule dans une grande mesure le succès ou l'insuccès des sept autres phases qui suivent, et en définitive de toute l'application. Elle est absente dans l'exemple que nous décrivons car nous attribuons à notre utilisateur-type des vues courtes. Nous en reparlerons plus loin.

Le phase 1 est en quelque sorte photographique : nature des informations à traiter, volume des informations, fichiers divers uti-

(1) Parfois le produit est aussi de l'information (banque, assurance, édition) ; l'ordinateur est alors encore plus utile. Mais dans le cas classique, il peut également beaucoup aider à l'élaboration directe de certains produits industriels dans l'usine : c'est le « *process control* ».



Le « mini-ordinateur » NCR 400, dont le système de base comprend un pupitre de commande, une unité centrale, un lecteur enregistreur à pistes magnétiques, un lecteur photoélectrique de bande perforée. De conception modulaire, il peut être complété et développé par étapes, selon les besoins et l'évolution de chaque entreprise.

lisés, procédures de traitement, périodicités, contrôles divers, documents produits, etc. Tout cela est inventorié et étudié. Peu à peu les analystes dressent un tableau de plus en plus précis des activités constituant la tâche choisie. Peu à peu, ils découvrent non seulement les mécanismes utiles, mais aussi les nombreuses déviations et aberrations résultant de transformations imperceptibles et continues du processus administratif et qui se sont accumulées au cours des ans. L'analyste catalogue, mais c'est pour mieux émonder, s'il est vraiment analyste, bien sûr.

La phase 2 prend des allures bien différentes, précisément suivant la personnalité de l'analyste. Au pire, elle fournira une simple transposition de la routine administrative à l'usage de la machine. Au mieux, ce sera une véritable création. Son but est l'élaboration d'une solution de traitement qui concilie au mieux les exigences de la solution théorique idéale et les possibilités de l'ordinateur. L'analyste doit être ambivalent. Outre-Atlantique, le problème de l'ambivalence nécessaire est résolu de façon très simple, pragmatique comme toujours : on y utilise deux catégories d'analystes, l'analyste de problème et l'analyste de système. En Europe, où les moyens sont plus limités, on s'efforce de s'attacher les services d'un de ces techniciens à double spécialisation dont il existe quand même quelques-uns, mais dont la rareté constitue en fait un des plus grands freins au développement rapide de l'informatique dans l'entreprise. Ce problème crucial ne fait malheureusement qu'empirer.

La phase 3, plus technique, réclame néanmoins une dose d'expérience du même ordre. Elle consiste à jauger l'ensemble des opérations constituant la chaîne de procédures et à les grouper par « paquets », chacun d'eux constituant une « unité de traitement ». Chacune des unités de traitement deviendra plus tard un « programme », c'est-à-dire une collection de centaines ou de milliers d'instructions capables d'animer les circuits inertes de l'ordinateur pour l'accomplissement d'un travail déterminé.

Une attention particulière est apportée aux contrôles à effectuer : il faut les imaginer, les placer, les conjuguer avec des méthodes de correction d'erreurs, les étoffer suffisamment sans cependant les multiplier inutilement au point d'alourdir la chaîne d'une manière prohibitive. Cette appréciation est très délicate car, au contraire des

procédures dont la réalisation constitue l'objet même du travail et ne peut donc être négligée, les contrôles n'interviennent, eux, qu'au second degré et d'une façon apparemment annexe. Or, en fait, leur conception est fondamentale, et cela d'autant plus que le système est plus intégré. Comme on le comprendra facilement plus tard, les erreurs ont alors tendance à exploser littéralement à travers le système, en essaimant partout.

La phase 4 porte sur la réalisation des dossiers d'analyse pour chaque unité de traitement (UT), décrivant en détail données, procédures, contrôles, documents ou données de sortie. On dresse pour chacune l'organigramme détaillé, c'est-à-dire le schéma logique de toutes les opérations que le programme devra effectuer en fonction de la nature et de la valeur des données d'entrée (par exemple : heures de travail normales ou supplémentaires à des tarifs variables, salaires bruts au-dessus ou au-dessous du plafond de la Sécurité Sociale, livraisons au-dessus d'une certaine quantité donnant lieu à ristourne, etc.). Ce travail est long et minutieux. Le péché par omission n'y est que trop facile, et plus tardivement on le découvre, plus il est coûteux à effacer.

La phase 5 est la plus mécanique de toutes et par conséquent réputée la plus aisée. Cela est vrai, mais encore est-il nécesaire de ne pas perdre de vue qu'un programme s'écrit, et donc qu'il porte la marque de son auteur. On y retrouve ses habitudes, son style, sans parler de ses fautes de syntaxe et de ses fautes d'orthographe qui sont inévitables.

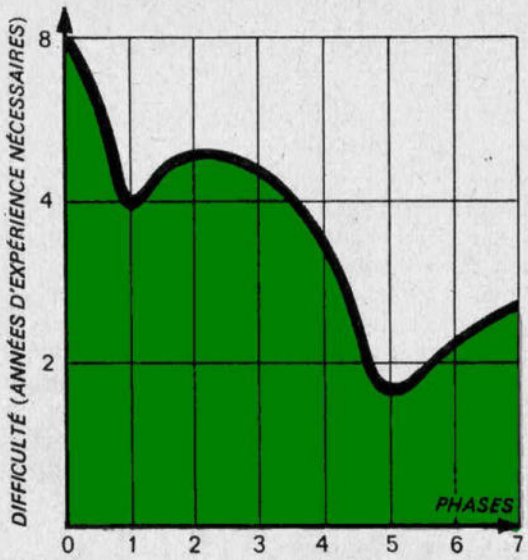
Une très sévère discipline en ce qui concerne le style est nécessaire, sinon, comme cinq ou dix programmeurs différents travaillent dans une installation moyenne, la diversité de leurs méthodes personnelles entraînera à coup sûr un chaos général en ce qui concerne l'exploitation (c'est-à-dire le fonctionnement en production de l'ordinateur, en régime de croisière, après le démarrage) et obligera à modifier ultérieurement les programmes. Il est indispensable de rédiger un manuel de normes définissant les seules méthodes approuvées de programmation, de mise au point et d'entretien dans le cadre de l'installation, en fonction de tous les paramètres qui lui sont particuliers : nature et composition du matériel, langages utilisés, système opératoire, organisation, etc. De tels manuels de normes sont également nécessaires pour l'analyse et pour l'exploitation si l'on veut assurer un minimum d'ordre et de productivité et se protéger autant que possible contre ce fléau qu'est la mobilité du personnel informaticien.

La phase 6, passage effectif au travail sur ordinateur, demande surtout un planning détaillé. Certaines de ses parties débutent d'ailleurs en même temps que la phase 4, voire avant elle, en particulier les travaux de constitution des fichiers qui peuvent être très longs. La période de marche en parallèle avec l'ancienne méthode, les vérifications à prévoir, le passage de l'une à l'autre, doivent être soigneusement organisés.

Enfin, la phase 7, concernant l'entretien des unités de traitement montre, de par son existence même, que rien n'est jamais fini : les programmes sont toujours imparfaits, tant sur le plan des performances et de l'encombrement que sur celui des erreurs non encore décelées et qui apparaissent en cours d'exploitation, au hasard de combinaisons particulières de données. Quant aux procédures, elles varient sans cesse, soit par suite de contraintes diverses (changement de législation, de nature d'activités, etc.), soit parce qu'on cherche des améliorations de service, de simplification et de normalisation. Cet entretien est souvent considérable, de l'ordre de 30 % annuellement du travail initial de programmation, et parfois plus, surtout lorsque la phase zéro a été sautée...

ACTE SUIVANT : L'INTÉGRATION

Au terme de cette série d'efforts qui a pu s'échelonner sur quelque deux ans, où en sommes-nous ? Nous avons créé dans l'entreprise une ou deux « parcelles » de mécanisation par le déroulement d'un processus dont la figure en haut de la page 93 schématise les difficultés successives. De nombreux points ont été volontairement omis dans notre description car leur discussion nous aurait entraînés trop loin. Mentionnons entre autres : la structuration du service informatique, ses liaisons avec le reste de l'entreprise, le choix de la machine, le choix de sa configuration et ses répercussions sur l'analyse, le choix du système opératoire, le choix du langage de programmation, le recrutement et la formation du per-



Difficultés des phases successives de l'analyse et de la programmation.

sonnel, l'installation physique de la machine, l'organisation de la magnétothèque, etc.

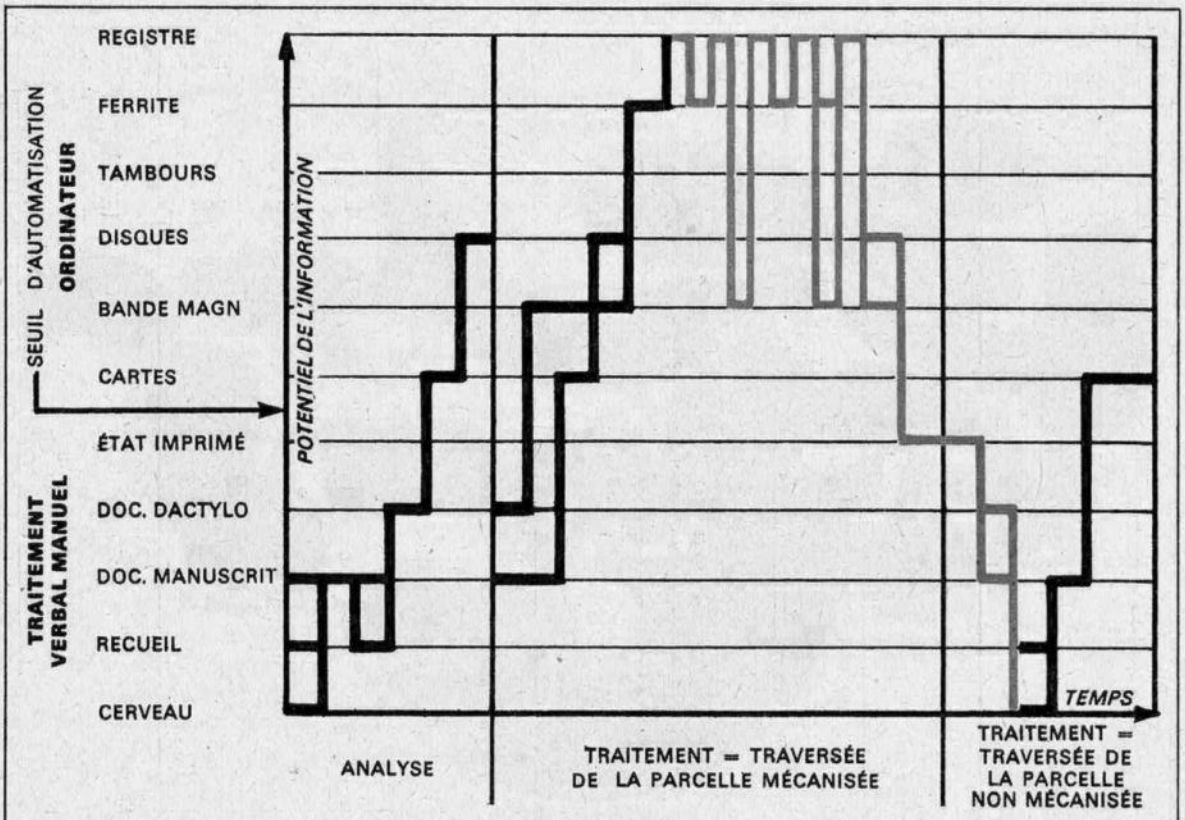
Les ramifications du flot d'informations qui circule dans l'entreprise s'étendent au travers de diverses zones représentées sur la figure du bas : zones clients, zone personnel, zone production, etc., dont chacune est constituée d'un grand nombre de parcelles. Par exemple, la facturation, dont nous venons d'effectuer la mécanisation, représente une parcelle de la zone client. Mais la prévision des ventes, la surveillance des comptes clients, la gestion budgétaire du service commercial, le commissionnement des vendeurs sont parmi bien d'autres parcelles de la même zone. Les informations circulent d'une parcelle à l'autre, souvent

Les zones naturelles d'information : les parcelles mécanisées étendent les unes vers les autres leurs pseudopodes durant le processus d'intégration. Une représentation à deux dimensions est très imparfaite car il y a de nombreuses communications entre zones adjacentes.

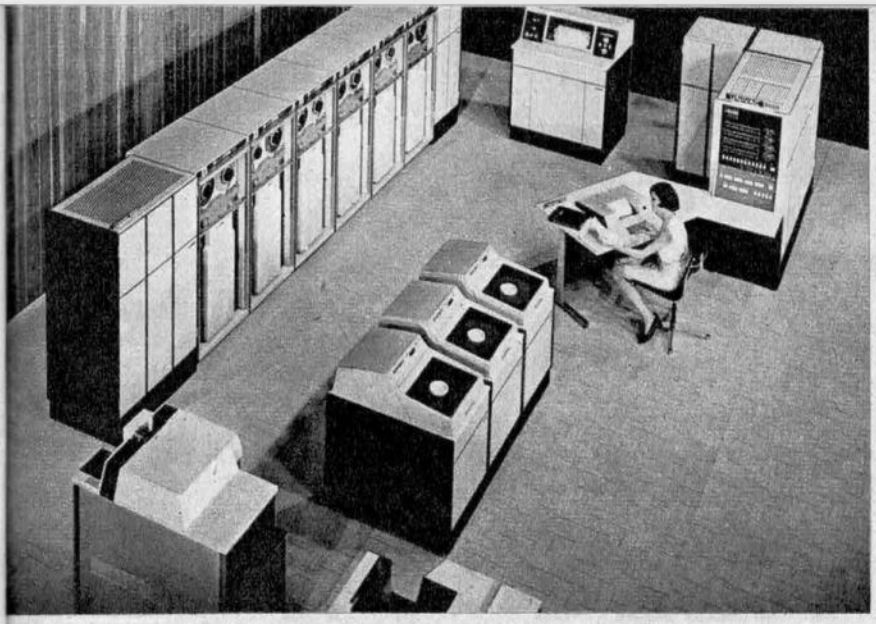
dans les deux sens. Que se passe-t-il dans le cas de notre facturation ? Sans arrêt, l'information entrée au départ dans la parcelle facturation (ce sera le bon de livraison avec tous ses éléments ou le bon de commande) gravit l'échelle de potentiel de la figure ci-dessous ou la redescend au cours de son passage vers les autres parcelles. Plus son niveau est bas et plus elle se déplace lentement, plus elle s'entache d'erreurs dans ses mouvements, et même simplement en vieillissant, et plus il en coûte pour la réintégrer dans le domaine de l'automatisation, c'est-à-dire dans les parcelles mécanisées où elle sera traitée avec sûreté, à grande vitesse, pour un prix dérisoire.

Il s'agit donc maintenant, pour éliminer ces freins, ces erreurs et ces coûts, non seulement de continuer à mécaniser d'autres parcelles (réaliser d'autres « applications », pour employer le jargon spécialisé), mais surtout de les relier directement les unes aux autres pour le transit des informations. Physiquement, l'information ne circulera qu'entre les fichiers magnétiques et l'unité centrale de l'ordinateur, mais chaque fois sous l'impulsion d'unités de traitement différentes appartenant aux diverses applications et la traitant tour à tour. C'est ce que l'on appelle l'intégration.

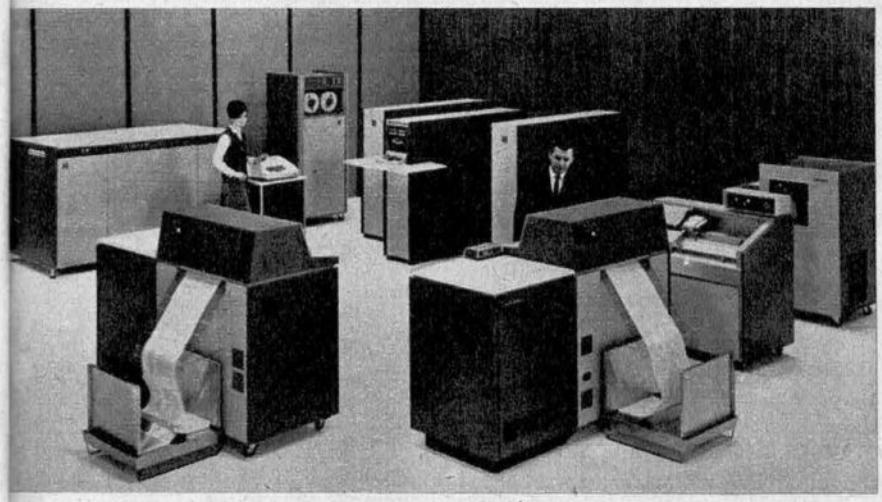
On remarque tout de suite que l'information ne rentrera plus dans le système (c'est-à-dire le complexe calculateur/programmes) qu'une seule fois, juste après sa création (rédaction du bon de commande, de la sortie de stock magasin, etc.), sauf lorsqu'une erreur aura été détectée, auquel cas elle sera recyclée après correction. On



Il faut payer pour élever le potentiel de l'information au long des lignes noires verticales. Les coûts de passage d'un palier à l'autre sont très différents, les plus élevés étant au bas de l'échelle et correspondent d'ailleurs aux taux d'erreur les plus importants à chaque passage.



Le système Univac 9004, ordinateur de moyenne puissance, utilise des techniques évoluées : circuits monolithiques, mémoires à couches minces sur fils. Les mémoires externes sont constituées de bandes et de disques magnétiques.



Un ensemble électronique à construction modulaire conçu pour le multitraitement, le Burroughs B 3500.

voit qu'il est essentiel qu'un maximum de précautions et de contrôles interviennent, sinon l'information erronée va se répandre vite et loin. Dans les systèmes évolués, le coût des corrections devient très élevé et ce peut être un avantage très important de certains systèmes en temps réel bien conçus où la possibilité d'échanges d'informations entre la machine et son utilisateur permet de beaucoup réduire le taux d'informations inexactes à l'entrée.

Si le concept d'intégration est simple dans son ensemble et si les bénéfices de toute nature qu'on peut en attendre sont grands, son application pratique est hérissée de multiples difficultés ; nous y reviendrons. Mais parlons sans plus attendre du but ultime à atteindre au delà de l'intégration, l'IMIS.

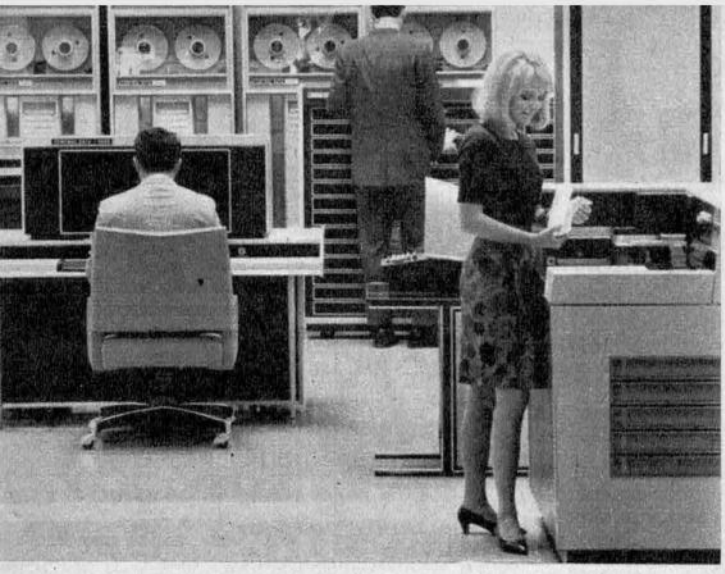
TROISIÈME ACTE : L'I.M.I.S.

Ce sigle ésotérique n'est pas un cartouche égyptien, encore que le système qu'il désigne soit aussi difficile à ériger qu'une pyramide, dont il emprunte d'ailleurs la forme dans la plupart de ses symbolisations graphiques.

IMIS veut dire *Information Management Integrated System*, soit « système intégré d'information pour le management ». Il faut se garder de traduire « management », qui est un vieux mot français, par « direction » : un chef de service est un « manager » qui gère son service comme la ménagère sa maison, au sens du fameux « Mesnager des Champs » d'Olivier de Serres.

Le principe de l'IMIS tient en une phrase : fournir en temps voulu, aux managers de tous les niveaux, toutes les informations utiles pour leur permettre de remplir au mieux leurs fonctions. Plus élevé sera le niveau auquel elles seront destinées, plus les informations seront synthétiques (la pyramide) et plus leur nature sera prospective.

Nous voici bien loin des mécanisations parcellaires. L'IMIS devra essentiellement permettre :



Capable d'effectuer trois millions d'opérations à la seconde, le Control Data 6 600 est réputé le plus puissant des ordinateurs actuels. En France, la S.N.C.F. dispose d'une telle machine.

— ce que l'on appelle la gestion par exception ; celle où l'homme n'intervient que lorsqu'un incident se produit dans le déroulement des chaînes entièrement automatisées ;

— la réponse rapide du système à une interrogation, ce qui implique une plus large utilisation des mémoires à accès direct, le recours au « temps réel », la mise en application du concept de « base commune des données », réunissant sous une forme accessible la totalité des données concernant l'entreprise ;

— enfin, l'utilisation de modèles, de méthodes de simulation fondées sur les éléments historiques et prévisionnels de cette base commune des données.

Si nous reprenons la représentation du système intégré de la page 93, l'IMIS peut se concevoir comme une structure dont les racines plongent dans les diverses parcelles automatisées et qui pousse en hauteur dans la troisième dimension tout en se rétrécissant jusqu'au sommet. Dans cette structure, ce ne sont plus les données opérationnelles elles-mêmes qui circulent, comme au niveau du plan de base, mais des informations élaborées qui les commentent et en présentent un tableau de plus en plus synthétique et prospectif. En fait, si cette représentation imagée de l'IMIS affecte cette forme de pyramide, c'est qu'elle est tout simplement due à la structure hiérarchique de l'entreprise elle-même.

Une question reste : comment intégrer plus que mécaniser, atteindre enfin à l'IMIS ?

Quand nous avons évoqué la phase zéro, pour déplorer son omission, c'est précisément de la définition des objectifs et du planning à long terme, des indispensables préalables à l'intégration, puis à l'IMIS, qu'il s'agissait.

Le succès final et l'économie globale de l'opération dépendent en effet en grande partie de l'avant-projet que l'on doit dresser avant d'entreprendre la première des sept phases décrites précédemment : l'ordre de priorité des objectifs, l'allocation des ressources en hommes et en machines et la conception des liaisons entre les applications conditionnent étroitement la qualité de la réalisation future. Ce troisième point a de considérables répercussions sur la façon d'organiser les chaînes de travail, de découper les unités de traitement, d'établir les codifications et les nomenclatures, de constituer les fichiers sur bandes ou disques, bref sur toutes les autres phases à l'intérieur de chaque application.

Finalement, on peut dire que c'est l'absence de phase zéro à la base qui est la cause d'un bon nombre de difficultés rencontrées dans la marche vers l'intégration. De là vient en particulier une multiplication des frais globaux d'analyse et de programmation, chaque application devant à chaque étape des intégrations successives être profondément remaniée pour être connectée aux autres.

Il y aurait beaucoup à dire sur cette phase zéro, mais sachons couper court. Nous croyons avoir montré que la marche vers l'intégration est inéluctable, et aussi que l'entreprise, dans le monde moderne, est condamnée à courir sans cesse à la recherche d'un impossible équilibre, prise entre une incroyable poussée technologique et les murailles de la routine qui s'effondrent dans de grandes secousses. Le mouvement en avant est irrésistible qui fait de l'ordinateur une obligation pour les entreprises qui veulent survivre face à celles qui ont déjà pris le départ, appris douloureusement, et sont maintenant prêtes à bien utiliser cet extraordinaire outil de rigueur de gestion, d'endiguage des coûts administratifs et de meilleur service aux clients qu'est l'ordinateur.

J. P. BOUHOT

Télécommunications et Plan calcul

TÉLÉINFORMATIQUE

Périphériques de calculateurs

- Téléimprimeurs
- Lecteurs-perforateurs de bandes
- Visualisation
- Mémoires de masse

Transmissions de données

- Système REFLEX 50 à 200 bauds
- Série TELSAT 200 à 20.000 bauds

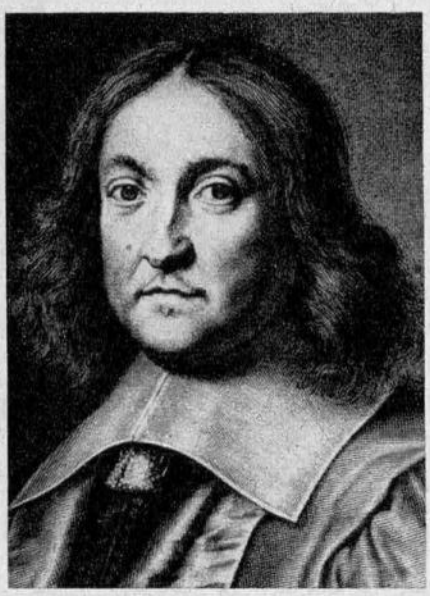
COMPAGNIE DE SIGNAUX ET D'ENTREPRISES ÉLECTRIQUES
2 à 8, Rue Caroline PARIS XVII[e] - 387 39-29

SOCIÉTÉ D'APPLICATIONS GÉNÉRALES D'ÉLECTRICITÉ ET DE MÉCANIQUE
6, Avenue d'Iéna PARIS XVI[e] - 553 62-50

SOCIÉTÉ ANONYME DE TÉLÉCOMMUNICATIONS
41, Rue Cantagrel PARIS XIII[e] - 707 37-29

ORDINATEURS ET RECHERCHE OPERATIONNELLE

Blaise Pascal. 1623-1662.
Maurin. Lith. Delpech. Coll. Viollet.



Pierre de Fermat. 1601-1665.
Grav. de Poilly. Coll. Viollet.

Parmi les êtres vivants, même les plus élémentaires sont capables de traiter certaines informations. Avec quelque dix milliards de neurones et leurs dix mille milliards de connexions, l'homme apparaît comme une formidable machine, à laquelle rien ne devrait résister.

En fait, dans notre activité quotidienne, nous prenons toute une série de décisions, dont la plupart sont dictées par les réflexes, l'habitude ou le bon sens le plus immédiat. Sous ce rapport, nous agissons comme un ordinateur *on line,* le délai de traitement étant d'autant plus faible que la participation de la conscience à la décision est plus réduite.

Tout se passe comme si nous disposions de programmes câblés pour les décisions qui relèvent du réflexe ou même de l'habitude, tandis que nous devons, pour prendre une décision consciente, appeler les sous-programmes appropriés et attendre qu'ils élaborent un résultat à partir de données dont certaines ont été préalablement contrôlées.

Au contraire, pour certaines décisions plus importantes ou plus embarrassantes, c'est un véritable traitement *off line* qui s'institue. Comme Rodrigue à la fin de ses stances, on peut être « honteux d'avoir tant balancé », mais qui n'a eu dans sa vie des cas de conscience ?

Depuis longtemps, dans cette activité de choix intelligent, l'homme a découvert des auxiliaires : le papier qui rend permanentes les données, visualise les modèles, vient au secours des inspirations fugaces, la machine à calculer qui permet d'exécuter vite et bien des opérations arithmétiques que seuls les calculateurs prodiges possèdent la faculté de traiter sans aide.

Optimiser les décisions importantes : démarche déjà ancienne

Il est donc tout naturel que nous recherchions, lorsque nous en avons le temps, les décisions les meilleures et, à ce titre, tout comme M. Jourdain faisait de la prose, nous

Archimède. 287-212 av. J.-C.
Bibl. Nat. Grav. Coll. Viollet.

Gaspard Monge. 1746-1818.
Bibl. Nat. Grav. Coll. Viollet.

faisons, et nos aïeux ont fait, de la recherche opérationnelle sans le savoir.

Contrairement à une opinion fort répandue, beaucoup de méthodes de la recherche opérationnelle remontent à des époques lointaines.

Lorsque, au III[e] siècle avant notre ère, Hiéron, tyran de Syracuse, questionne Archimède sur l'emploi optimal des moyens de défense de la ville contre la flotte romaine, il lui pose évidemment un problème de recherche opérationnelle.

Au XVII[e] siècle, Pascal et Fermat établissent la notion d'espérance mathématique afin de résoudre un problème de décision : évaluer les chances de gain de tout participant à un stade quelconque d'un jeu.

A la veille de la Révolution (1776), Gaspard Monge résout un problème de transport — un problème de programmation mathématique, dirions-nous aujourd'hui —, en vue de minimiser les charrois lorsqu'on exécute des terrassements.

Au début de ce siècle, A.K. Erlang, pour déterminer le nombre optimal de circuits et de centraux que devra comporter le réseau téléphonique de Copenhague, met au point la théorie des files d'attente.

En 1937, Kantorovitch donne une solution de programmes linéaires par la méthode des multiplicateurs de Lagrange, de manière à optimiser certains domaines de la planification en U.R.S.S.

Enfin, dans la lignée d'Augustin Cournot (1838), de Léon Walras, Vilfredo Pareto et Emile Borel, Johann von Neumann et Oskar Morgenstern écrivent leur « *Theory of games and economic behavior* » qui sera fort lue dans les états-majors, et publiée seulement en 1944.

Il n'est donc pas étonnant que la recherche opérationnelle ait pu être employée par les belligérants durant la seconde guerre mondiale et prendre son essor tout de suite après. On vient de fêter, en Angleterre, le trentième anniversaire de la fondation du « cirque Blackett » (1937), la première équipe coordonnée d'analystes opérationnels.

Tardive apparition de la recherche opérationnelle

Lorsqu'on a pris conscience de ce que représente la recherche opérationnelle et qu'on l'a définie comme **l'ensemble des méthodes et techniques rationnelles d'analyse et de synthèse des activités humaines en vue de la préparation de meilleures décisions,** on peut légitimement se poser la question de savoir pourquoi elle s'est introduite si récemment dans la vie quotidienne.

A cela, plusieurs réponses :

1. — A une époque encore proche, le processus de décision du chef ou de l'entrepreneur était notablement plus simple qu'à l'heure actuelle.

Dans la seconde moitié du XIX^{e} siècle et le premier quart du XX^{e}, par exemple, un industriel avait d'excellentes informations sur la vie de sa modeste entreprise et une petite quantité de bonnes informations sur le milieu extérieur, qui n'évoluait que lentement à cette époque.

A notre époque d'entreprises tentaculaires, d'administration étatique fortement développée et de télécommunications faciles, au contraire, il a des informations très médiocres sur sa propre entreprise et un monceau d'informations de valeur très inégale sur le milieu extérieur.

C'est donc la complexité de traitement de ces informations et, avant tout, le choix des informations déterminantes et leur contrôle qui imposent de nouvelles méthodes.

2. — La plupart des méthodes de recherche opérationnelle font appel à des traitement mathématiques et logiques longs et compliqués, irréalisables à la main.

Jusqu'en 1950, nous ne disposions d'aucune machine capable de résoudre avec quelque rapidité, donc avec quelque efficacité, bon nombre de problèmes de recherche opérationnelle.

Autrement dit, l'essor de la recherche opérationnelle date, avec précision, de l'avènement de l'ordinateur.

La recherche opérationnelle apparaît en quelque sorte comme la fille aînée de l'informatique.

La fille aînée de l'informatique

Les progrès ont été rapides. Tel problème, dont la solution avait nécessité plusieurs heures de traitement sur un ordinateur de la première génération peut être maintenant résolu en quelques minutes sur une machine de la troisième (si elle existe), en tout cas sur une machine actuelle.

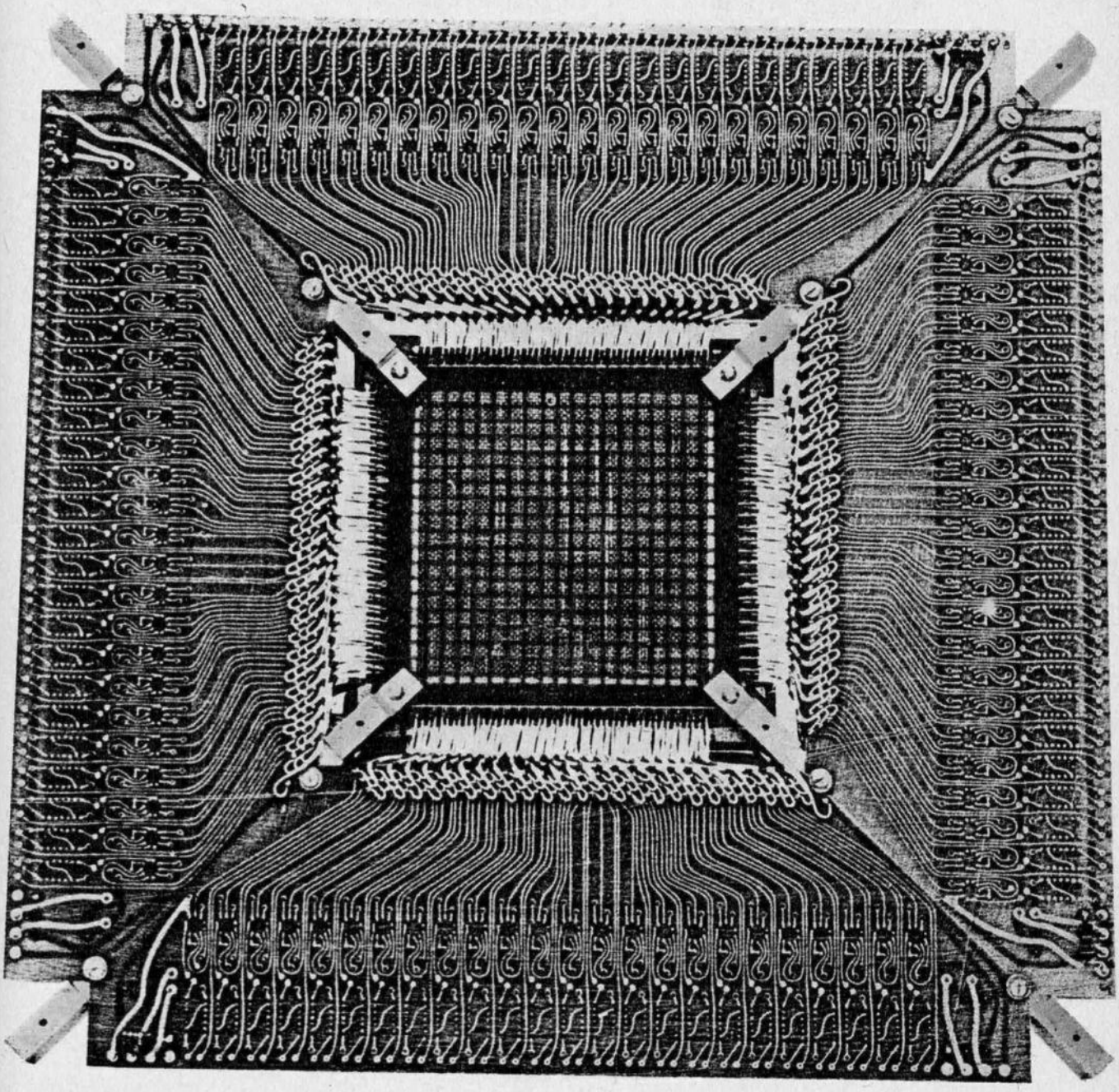
Bien entendu, la collaboration entre recherche opérationnelle et informatique est constante. Il est bien normal, lorsqu'on s'apprête à réaliser une œuvre aussi considérable qu'un ordinateur et ses programmes, qu'on ait le désir d'optimiser sa conception, dans les limites techniques et budgétaires fixées ; la recherche opérationnelle vient donc à la rescousse. Inversement, quand le chercheur opérationnel se trouve confronté avec certains problèmes, il se prend à rêver de machines assez puissantes et assez bien organisées pour mettre en œuvre les algorithmes qu'il imagine.

Nous nous trouvons, d'ailleurs, à une époque où les analystes formulent de plus en plus de revendications visant à obtenir des machines mieux adaptées à leurs préoccupations. On peut dire que nombreux sont les chercheurs opérationnels qui souhaiteraient que l'accès à la mémoire centrale de l'ordinateur ne fût pas séquentiel, d'où des investigations sur les mémoires à accès simultanés et croisés.

Si l'analyste rêve, c'est avant tout qu'il n'est pas satisfait. Les plus énormes ordinateurs lui paraissent encore bien trop petits et surtout d'une lenteur désespérante. Il faudrait environ six siècles (plus exactement : 585 ans) à une machine qui compterait chaque grain de blé à la vitesse de la nanoseconde (un milliardième de seconde) pour évaluer le contenu de l'échiquier de la légende, sur lequel on voulait déposer un grain dans la première case, deux grains dans la seconde, etc., et 2^{63} dans la soixante-quatrième.

Quels sont donc les problèmes qui requièrent, au lieu du simple bon sens, lorsque l'homme-ordinateur décide un traitement *off line*, l'assistance des méthodes de la recherche opérationnelle ?

Une mémoire à accès croisés : utilisée en périphérique de calculateur, elle permet de réduire le temps consacré, en calcul matriciel, à l'opération de transposition d'une matrice de 96 × 96 (écriture des colonnes suivie de la lecture des lignes). Elle permet aussi d'accélérer le classement de nombres en comparant les chiffres de même poids à partir du plus élevé. Ces deux propriétés seront utilisées dans la machine à lire autonome en cours de réalisation au Laboratoire de Recherches Avancées en Moyens Informatiques du Centre National de la Recherche Scientifique, que dirige le Professeur R. de Possel.



Raisons d'être de la recherche opérationnelle

Il sont, à notre avis, de trois espèces et nous verrons que, précisément, ils défient le bons sens individuel.

Notre formation cartésienne en est la cause. Plus d'un chef, plus d'un entrepreneur croit sincèrement pouvoir réduire toute décision à l'examen des faits par un cerveau bien fait (le sien).

Or, en certains domaines, comme l'annonçait déjà Renan, « tout est fécond, sauf le bon sens ».

1. — C'est singulièrement le cas de la décision dans un univers aléatoire. Quatre millions de Français prouvent, chaque semaine, en cotisant au P.M.U., que l'espérance mathématique ne fait pas partie du bagage du citoyen moyen. C'est une notion scientifique, qui doit nous être apportée de l'extérieur et qui fait collaborer à notre problème les mânes de penseurs disparus.

Elle exige la détermination des probabilités de réalisation de différents événements dans un contexte aléatoire et constitue un guide précieux. Elle aide à choisir la voie la « plus problablement » meilleure, dans une action répétitive, en tenant compte des probabilités objectives fournies par l'observation du passé.

Phénomènes d'attente, problèmes de stocks et d'entretien

Ainsi, lorsque nous avons affaire à un *phénomène d'attente*, elle nous permet d'établir un compromis entre le nombre des « serveurs » que nous mettons à la disposition des « clients » et l'attente probable que nous infligerons à la clientèle. Plus nous employons de serveurs, et plus cela nous coûte, mais moins les clients attendent. Moins nous avons de serveurs et moins cela nous coûte, mais plus les clients perdent leur temps, peut-être aussi (ou plus) précieux que le nôtre. Bilan facile à dresser à l'intérieur d'une entreprise, quand serveurs et clients lui appartiennent, plus difficile déjà à l'échelle sociale. C'est un des problèmes majeurs de tous les services, de tous les organismes publics ou privés, singulièrement dans le domaine des transports.

Bilan analogue à établir en matière de *stocks*. Plus le stock que nous admettons d'entretenir est élevé, et plus cela nous coûte, mais moins nous risquons de nous trouver en rupture de stock. Moins élevé est notre stock et plus nous risquons de tomber en pénurie, mécontentant notre clientèle et lui créant des difficultés.

L'*approvisionnement des rechanges*, l'*entretien des équipements* sont des problèmes de même nature. Il s'agit là encore d'instaurer le compromis le « plus probablement optimal » entre le coût d'un nombreux stock de pièces de rechange et les pertes imposées par les déficiences du matériel.

Dans ces trois sortes de phénomènes, nous affrontons une ou plusieurs variables aléatoires, et, le cas échéant, plus ou moins antagonistes. Dans les files d'attente, les clients arrivent au hasard et la durée du service qu'ils réclament est aléatoire (exemple : appel téléphonique, durée de la conversation ; arrivée d'un bateau, temps de déchargement ; survenance d'une panne, temps de réparation ; etc.). Dans les problèmes de stocks, la demande de la clientèle est aléatoire, le délai de réapprovisionnement auprès du fournisseur l'est aussi. Dans le cas de l'entretien des équipements, l'usure des pièces est aléatoire.

Dans les trois phénomènes, l'évaluation de l'espérance mathématique de chaque coût, en tenant compte de l'expérience acquise, nous autorise à prendre la décision la plus appropriée, si l'avenir ressemble au passé.

En *univers incertain*, au contraire, il ne faut pas l'oublier, on n'atteint que des probabilités subjectives, et la considération de l'espérance mathématique peut encore donner des indications, mais pas de résultats universellement admis, comme dans les cas précédents.

Montrons sur un exemple simple comment la notion s'applique en univers aléatoire.

UN PROBLÈME SIMPLE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE: PANNES ALÉATOIRES ET RÉPARATIONS.

Voici un atelier de réparation de machines. D'après les observations statistiques, ces machines tombent en panne à la cadence de une par demi-journée ; il faut en moyenne un tiers de journée pour réparer chacune.

Le travail de réparation ne durant en moyenne que deux-tiers de journée par journée de travail, le bon sens *nous a fait prévoir* un seul *mécanicien pour les entretenir. Est-ce vraiment la bonne solution ?*

Admettons maintenant (ce qui est le cas le plus courant) que nous puissions affirmer, grâce à l'étude statistique, que les pannes surviennent « à la Poisson » et que les services sont d'une durée aléatoire, bien représentée par une loi exponentielle.

On calcule aisément que le nombre moyen de machines en attente de réparation est 2, et que chacune attend, en moyenne, 2/3 de journée sa réparation (1).

Si le salaire d'un mécanicien est de 60 F par jour, charges comprises, et si la panne de machine fait perdre 300 F par jour à l'entreprise, le coût journalier total du temps perdu par le mécanicien et de l'indisponibilité de machine s'établit à :

$$\frac{1}{3} \times 60 + 2 \times \frac{2}{3} \times 300 = 420 \text{ F}$$

Avec deux mécaniciens (2), l'attente tombe à 1/24 de journée par machine en panne ; le coût total correspondant est de :

$$\frac{4}{3} \times 60 + 2 \times \frac{1}{24} \times 300 = 105 \text{ F}$$

Pour trois mécaniciens, on aurait un coût total de 143 F.

Point n'est besoin d'être grand clerc pour choisir d'embaucher au moins un nouveau mécanicien, et pourtant cela heurte le bon sens de s'apercevoir que chacun ne travaillera plus qu'un tiers de son temps !

(1) Le taux de la loi de Poisson est : $\lambda = 2$, celui du service: $\mu = 3$; le nombre moyen de machines en attente de réparation (y compris celle qu'on répare) est: $\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$; le temps d'attente de chacune: $\bar{\tau}_f = \frac{\bar{n}}{\mu}$

Phénomènes combinatoires

2. — Un autre domaine qui échappe presque complètement au contrôle du bon sens est le domaine des *phénomènes dits combinatoires.*

Nous avons peine à imaginer, par exemple, qu'il faudrait un siècle pour réunir, à raison d'une fois par semaine, le comité de direction d'une entreprise, composé de seulement sept membres, si l'on voulait épuiser toutes les dispositions relatives possibles autour du tapis vert.

Et, si tous les humains actuellement vivants entreprenaient d'énumérer chacun un milliard parmi les permutations différentes de vingt objets seulement, à raison d'une par seconde et sans prendre jamais de repos, il leur faudrait plus de trente ans pour les énumérer toutes !

Aussi, quand un manager se flatte de trouver, grâce à son « flair », la meilleure combinaison de quelques dizaines d'hypothèses, il est préférable de sourire que d'admirer.

Des méthodes efficaces pour le traitement des problèmes combinatoires sont la théorie des graphes et la programmation mathématique.

Graphes et programmation mathématique

König *(Theorie der endlichen und unendlichen Graphen)* et Berge *(Théorie des graphes et applications)* se sont attachés à définir les graphes utilisés en recherche opérationnelle.

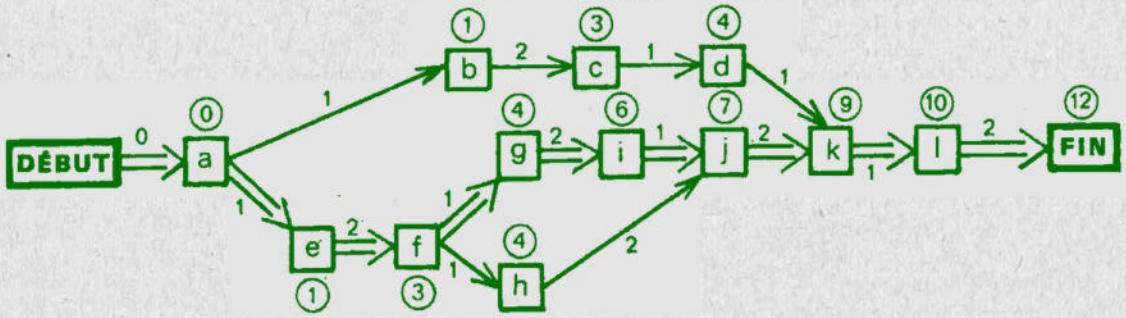
Un *graphe* (ensemble de sommets reliés entre eux par des arcs) peut symboliser mille situations : représentation de voies à sens unique (arcs) ou à double sens (arêtes) ; de la circulation de produits, informations ; d'une situation de préordre (certains éléments étant considérés comme « antérieurs » à d'autres), etc.

C'est le cas de la méthode d'*étude des ordonnancements*, appelée méthode des po-

(2) Pour plus d'une station, les formules sont classiques, mais plus compliquées.

L'ORDONNANCEMENT DE LA RÉPARATION D'UN MATÉRIEL

Opération	durée (en h)	opérations préalables	équipe
a. enlèvements de la carcasse	1	néant	A
b. nettoyage de la carcasse	2	a	A
c. remplacement des tôles et de la visserie défectueuse	1	b	A
d. peinture	1	c	A
e. nettoyage du corps	2	a	B
f. tests mécaniques	1	e	B
g. tests électriques	2	f	B
h. approvisionnement en rechanges mécaniques	2	f	(B)
i. approvisionnement en rechanges électriques	1	g	(B)
j. pose des rechanges	2	h, i	B
k. remontage	1	d, j	A
l. essais	2	k	B



Ce tableau et le graphe qui l'accompagne concernent l'ordonnancement de la réparation d'un matériel. Les opérations à effectuer sont énumérées dans le tableau et leur succession apparaît sur le graphe. Les arcs représentés par un double trait constituent le chemin critique, le long duquel aucune opération ne peut être retardée ou allongée sous peine de dépasser un délai fixé par le réalisateur du travail. Au contraire, sur les opérations non critiques, tracées en trait simple, on dispose de marges.

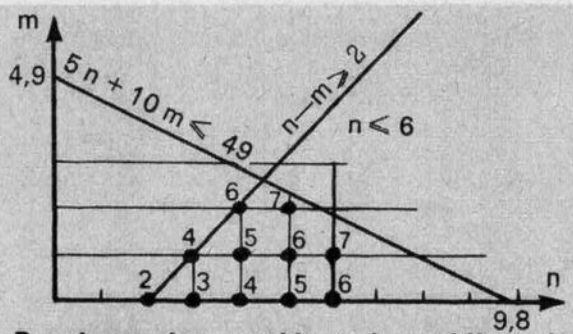
tentiels, plus simple et plus efficace que la méthode PERT. On voit sur la figure ci-dessus, à titre d'exemple, comment se présente l'ordonnancement de la réparation d'un matériel.

La *programmation mathématique* comprend la programmation linéaire, la programmation dynamique, etc. La programmation dynamique concerne les problèmes non seulement combinatoires mais aussi séquentiels (par exemple, ceux de planification étatique ou d'entreprise).

Voici un problème de programmation mathématique peu classique :

UN PROBLÈME DE PROGRAMMATION MATHÉMATIQUE : CHOIX D'UN CADEAU A UN BIBLIOPHILE

A un ami bibliophile qui lui a rendu un service, une personne désire faire cadeau d'un livre relié, pour lequel elle se fixe le prix maximal de 99 F. On lui présente des livres brochés, dignes d'intérêt, à partir de 10 F, dont les prix varient ensuite par paliers de 5 F, jusqu'à 40 F ; des reliures, à partir de 40 F, les paliers étant, cette fois, de 10 F.



Représentation graphique du problème du bibliophile.

La personne admet que le prix du livre ne devra pas être inférieur à la moitié du prix de la reliure.

D'autre part, elle pense que le bibliophile attribuera, à prix égal, deux fois plus de valeur au livre qu'à la reliure.

Comment doit-elle choisir son cadeau pour optimiser sa dépense ?

Le prix du livre, x_1 *peut être représenté par la fonction :* $x_1 = 10 + 5\,n$, n *étant un nombre entier naturel, inférieur ou égal à 6. Le prix de la reliure,* x_2, *est de la forme :* $x_2 = 40 + 10\,m$, m *étant un entier naturel (dont on verrait qu'il ne peut atteindre 5, sous peine d'offrir une reliure vide).*

On doit avoir : $x_1 + x_2 \leqslant 99$ *ce qui équivaut à :* $5\,n + 10\,m \leqslant 49$. *On doit avoir aussi :* $x_1 \geqslant \frac{x_2}{2}$, *c'est-à-dire :* $n - m \geqslant 2$.

La valeur attachée au cadeau par le bibliophile sera : $2\,x_1 + x_2 = 60 + 10\,(m + n)$; *elle croît donc exactement comme* $m + n$.

Représentons donc (figure ci-contre) des axes de coordonées où m *et* n *varient d'entier en entier, dans les limites imposées par les contraintes ci-dessus, et marquons d'un point gras toutes les solutions entières (les seules qui nous intéressent). A côté de chaque point ainsi déterminé, mentionnons la valeur* $n + m$.

On constate que, pour deux points, on a $n + m = 7$ *et cela correspond au maximum de la valeur que le bibliophile attachera au cadeau, soit 130 F.*

Mais on peut obtenir $n + m = 7$ *de deux façons différentes :* $n = 5$ *et* $m = 2$, *d'une part ;* $n = 6$ *et* $m = 1$, *d'autre part.*

Dans le premier cas, le prix coûtant est de $35 + 60 = 95$ *F, dans le second, de* $40 + 50 = 90$ *F. C'est donc cette dernière solution qui, pour l'effet maximal compatible avec les contraintes, se révèle la moins onéreuse.*

Encore représentable dans le plan lorsqu'il s'agit de deux variables, un problème de type analogue ne le serait que dans l'espace pour trois variables et plus du tout pour un nombre supérieur.

Il faut donc des méthodes systématiques, fondées sur d'autres principes, pour résoudre les problèmes combinatoires pour lesquels on cherche, dans l'espace limité par les contraintes, la meilleure solution : c'est là le domaine de la programmation mathématique.

Le domaine du « duel »

3. — Le troisième domaine qui n'est pas du ressort du bon sens est celui du *duel*, qui réunit à la fois les difficultés de l'aléatoire et du combinatoire.

C'est, par excellence, l'univers des problèmes de concurrence (qu'elle soit pacifique ou non), *l'univers hostile.*

La méthode de traitement n'est facile, complète et incontestée, lorsque le jeu est objectif et répétitif, qu'au cas où l'on a affaire à seulement deux joueurs.

Encore faut-il connaître la règle du jeu, qui s'exprime, dans un jeu où le nombre de façons de jouer (stratégies pures) de chacun est fini, par un tableau où figurent les résultats relatifs (les paiements algébriques du joueur B au joueur A), en présence des paires ordonnées de stratégies (x, y), x étant l'une des stratégies pures de A, y l'une de celles de B.

UN EXEMPLE DE « DUEL » : LE CHOIX RATIONNEL DES STRATÉGIES

Soit, par exemple, le tableau de la figure ci-contre, dans lequel apparaissent deux stratégies pour A et trois stratégies pour B. Il n'y a pas de plus petit élément dans une ligne qui soit le plus grand dans sa colonne, c'est-à-dire de maximum pour les gains minimaux de A, relatifs à l'ensemble de ses stratégies, qui coïncide avec le minimum des pertes maximales de B, relatives à l'ensemble des stratégies de B.

L'équilibre n'est pas simple et c'est encore grâce à l'espérance mathématique qu'on l'atteint.

Supposons que le joueur A adopte les fréquences p_1 et p_2 pour jouer les stratégies 1 et 2 à sa disposition ($p_1 + p_2 = 1$). Si le joueur B adopte, de son côté, les fréquences q_1, q_2 et q_3 ($q_1 + q_2 + q_3 = 1$), pour des stratégies respectives I, II, III, l'espérance mathématique de A sera :

$E(A) = (p_1 - p_2)\, q_1 + (-2\, p_1 + p_2)\, q_2 + (-3\, p_1 + 2\, p_2)\, q_3$.

En lisant en ligne, au lieu de lire en colonne, on verrait que $E(B) = E(A)$. Il y a donc équivalence.

Dans le cas particulier considéré, il est facile de trouver les fréquences p_1 et p_2 et la valeur du jeu, g.

Comme A désire $E(A) \geqslant g$, quel que soit le jeu de B, on peut considérer les trois attitudes de B qui consisteraient à ne jouer qu'une et une seule des trois colonnes ; on aurait alors une inégalité pour chacune, soit :

$p_1 - p_2 \geqslant g$; $-2\, p_1 + p_2 \geqslant g$; $-3\, p_1 + 2\, p_2 \geqslant g$ *et, en remplaçant p_1 par $1 - p_2$, puisque $p_1 + p_2 = 1$, les trois inégalités équivalentes :* $1 - 2\, p_2 \geqslant g$; $-2 + 3\, p_2 \geqslant g$; $-3 + 5\, p \geqslant g$.

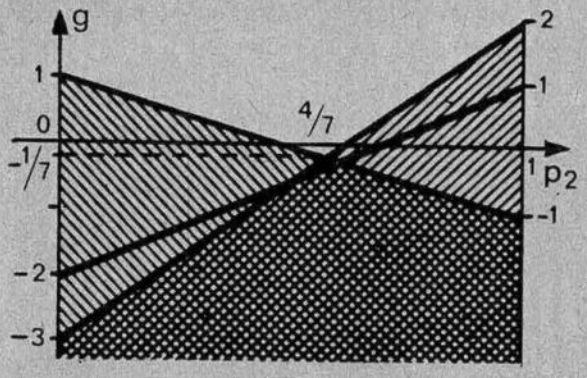
Ces trois inégalités partagent le plan (p_2, g) de la figure en trois demi-plans dont l'intersection (la droite $-2 + 3\, p_2 = g$ ne jouant aucun rôle) est hachurée. On constate que pour $p_2 = \frac{4}{7}$, on a $g = -\frac{1}{7}$, quel que soit le jeu de B. Dans ces conditions, p_1 vaut $\frac{3}{7}$.

Il est alors aisé de déterminer q_1 et q_3, puisque $q_2 = 0$; on a : $q_1 = \frac{5}{7}$, $q_3 = \frac{2}{7}$.

Dans un jeu à un nombre élevé de coups, le gain moyen par coup de B sera donc 1/7 et la perte moyenne par coup de A de 1/7, si les joueurs adoptent les fréquences ci-dessus (pour laisser ignorer à leur adversaire la succession des choix au hasard mais conformes aux fréquences calculées, ils emploieront des tables de nombres aléatoires).

		B I	B II	B III
A	1	1	−2	−3
	2	−1	1	2

Tableau d'un jeu entre deux adversaires A et B pratiquant des stratégies désignées par 1 et 2 pour A et I, II, et III pour B, avec indication des gains algébriques de A.



Solution graphique du jeu.

Dans l'exemple que nous venons de donner, la solution ne peut être critiquée. Au contraire, si les gains relatifs étaient plus ou moins bien évalués (cas de réalisations commerciales ou militaires), ou si l'on en revenait à des jeux à somme non nulle (ce qui est gagné par l'un n'est pas forcément perdu par l'autre) ou si l'on s'exprimait, dans les tableaux, en termes « d'utilité », les critiques seraient amplement justifiées.

Telles sont quelques-unes des méthodes de la recherche opérationnelle que l'homme d'action peut employer en présence de situations où le bon sens lui est de peu de secours pour éclairer ses décisions.

Bon usage et rentabilité de la recherche opérationnelle

Du fait que la recherche opérationnelle n'a pas d'éthique propre et qu'elle est prête à servir indistinctement deux adversaires, on l'a quelquefois qualifiée d'« amorale ».

En effet, si un « décideur » envisage de consulter un analyste, ce n'est à coup sûr pas ce dernier qui lui fournira le critère de choix d'après lequel évaluer les différentes combinaisons d'hypothèses dans un univers aléatoire, combinatoire ou de duel.

Le chercheur opérationnel n'est pas responsable du critère choisi, et il ne choisit pas non plus la solution à adopter : il se borne à présenter les différents résultats, par ordre de mérite, au regard du critère qu'il a reçu du décideur, laissant à ce dernier le soin d'exercer son métier en toute souveraineté.

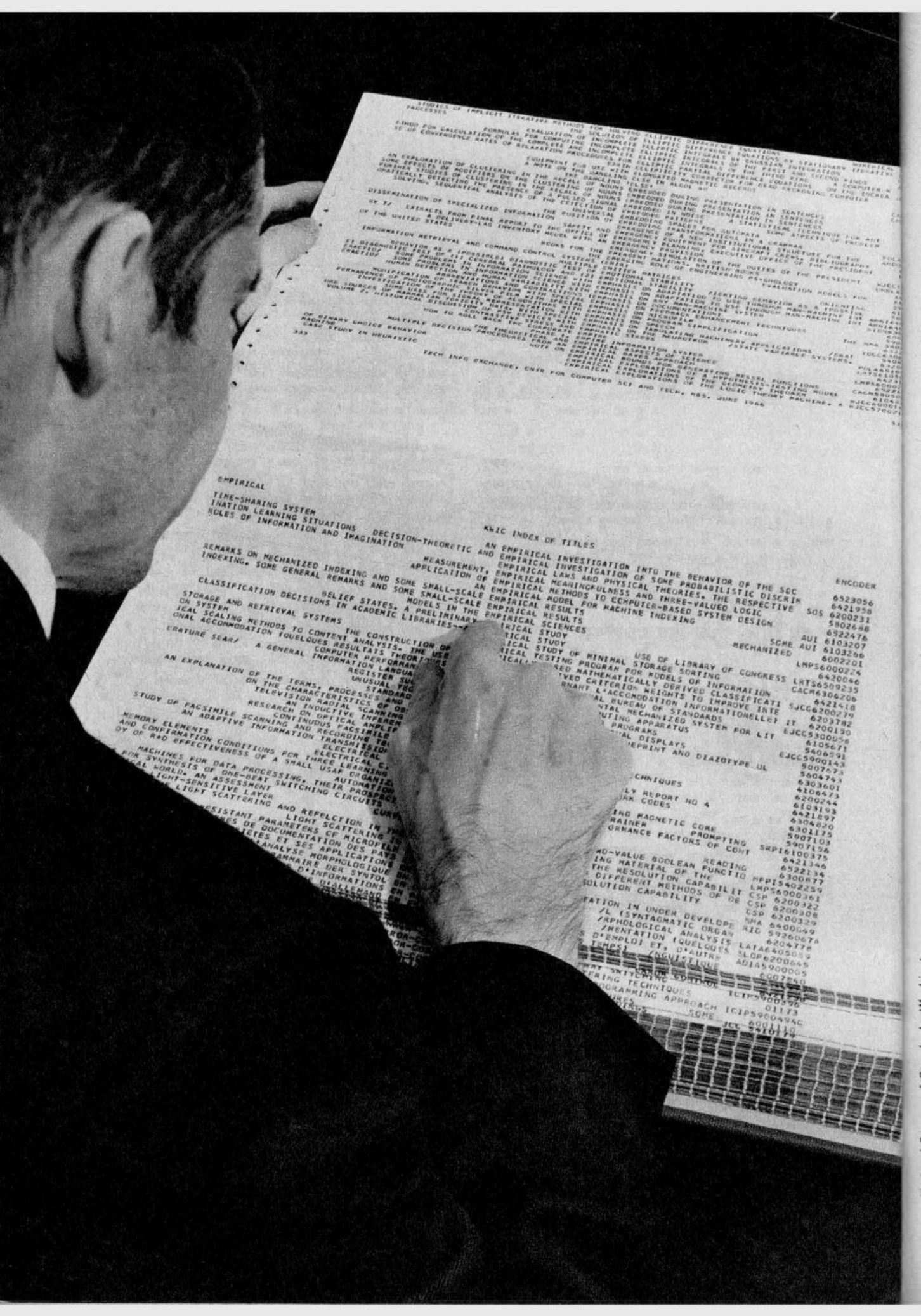
C'est pourquoi certains technocrates sont très surpris de constater que la recherche opérationnelle est, de ce fait, résolument antitechnocratique.

Reste à savoir si, selon deux bruits opposés mais qui ne cessent pas de circuler dans les sphères dirigeantes, la recherche opérationnelle est ou non rentable. Selon certains, le prix élevé de l'intervention des analystes n'est pas justifié par le gain qu'ils procurent à l'entreprise. Selon d'autres, le bénéfice est, au contraire, spectaculaire. Qui croire ?

Assurément, ni les premiers, ni les seconds, si l'on veut envisager le cas général. Il est normal que, dans une affaire bien gérée, les améliorations que suggèrent les chercheurs opérationnels soient modestes et, à l'autre pôle, il n'est pas sûr qu'ils puissent sauver une affaire mal gérée.

Pourtant, très souvent, ils tombent sur le problème combinatoire « en or », celui qu'un bureau de planification croyait résoudre parfaitement, à coup de règles plus ou moins formulées et de calculs plus ou moins approchés. L'application d'un algorithme classique peut alors se traduire par des bonifications de l'ordre de 10 à 20 % des sommes totales concernées, ce qui laisse pantois les prétendus hommes de l'art. Des hommes qui commettent le pêché d'orgueil, en surestimant la valeur de leur bon sens.

Robert FAURE
Conseiller Scientifique à la RATP


KWIC INDEX OF TITLES
AN EMPIRICAL INVESTIGATION INTO THE BEHAVIOR OF THE SDC
AN EMPIRICAL INVESTIGATION OF SOME PROBABILISTIC DISCRIM
EMPIRICAL LAWS AND PHYSICAL THEORIES. THE RESPECTIVE
EMPIRICAL MEANINGFULNESS AND THREE-VALUED LOGIC
EMPIRICAL METHODS TO COMPUTER-BASED SYSTEM DESIGN
EMPIRICAL MODEL FOR MACHINE INDEXING
EMPIRICAL RESULTS
EMPIRICAL RESULTS
EMPIRICAL SCIENCES
EMPIRICAL STUDY
EMPIRICAL STUDY
EMPIRICAL STUDY OF MINIMAL STORAGE SORTING
USE OF LIBRARY OF CONGRESS
MODELS OF INFORMATION
MATHEMATICALLY DERIVED CLASSIFICATI
WEIGHTS TO IMPROVE INTE
ACCOMMODATION INFORMATIONELLE) IT
BUREAU OF STANDARDS
MECHANIZED SYSTEM FOR LIT
APPARATUS
PROGRAMS
DISPLAYS
REPRINT AND DIAZOTYPE UL
ENCODER
6523056
6421958
SDS 6200231
5802648
6322476
AUI 6103207
SCME AUI 6103266
MECHANIZED
6002201
LMPS6000224
6420046
LRTS6509235
CACM6306206
6421418
SJCC6200279
6203782
6200130
EJCC5300056
6105671
5406791
EJCC5900143
5007671
5604743
6303601
6106473
6200244
6104193
6421897
6304020
6301175
5907103
5907156
SRP16100375
6421346
6321134
6300877
HFPI5402259
LMPS6000161
CSP 6200322
CSP 6200308
CSP 6200329
KMA 6400649
AIC 5926067A
6204778
SLOP6200645
AD1A5900005
6007850
01173
JCC 6001110
5910179
EMPIRICAL
TIME-SHARING SYSTEM
INATION LEARNING SITUATIONS. DECISION-THEORETIC
NOLES OF INFORMATION AND IMAGINATION
REMARKS ON MECHANIZED INDEXING AND SOME SMALL-SCALE
INDEXING. SOME GENERAL REMARKS AND SOME SMALL-SCALE
CLASSIFICATION DECISIONS IN ACADEMIC LIBRARIES
BELIEF STATES. A PRELIMINARY
MODELS IN THE EMPIRICAL
STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEMS
ON SYSTEM
ICAL SCALING METHODS TO CONTENT ANALYSIS. THE
ONAL ACCOMMODATION (QUELQUES RESULTATS
ERATURE SEAR/ A GENERAL
AN EXPLANATION OF THE TERMS, PROCESSES
ON THE CHARACTERISTICS OF
STUDY OF FACSIMILE SCANNING AND RECORDING
MEMORY ELEMENTS
AND CONFIRMATION CONDITIONS FOR THREE
FOR SYNTHESIS OF ONE-BEAT
FOR R&D EFFECTIVENESS OF A SMALL
OF BINARY CHOICE BEHAVIOR
MACHINE
CASE STUDY IN HEURISTIC
333
TECH INFO EXCHANGE, CNTR FOR COMPUTER SCI AND TECH, NBS, JUNE 1966

LA DOCUMENTATION AUTOMATIQUE

Comment se présente un index K.W.I.C. *(Key Word In Context)* pour la recherche documentaire. Tous les titres des documents répertoriés sont inscrits sur cartes perforées qui sont traitées par ordinateur pour la confection de l'index où apparaissent en ordre alphabétique (colonne centrale) tous les mots significatifs d'un titre. C'est ainsi que « Models in the Empirical Sciences », par exemple, figurera non seulement sous la rubrique « Empirical », comme sur la photographie, mais aussi « Models » et « Sciences ». Sur la ligne du mot, à gauche, le contexte dans les limites de la place disponible. A droite, un numéro d'identification du document qui renvoie à une table où figurent le titre complet, le nom de l'auteur et un résumé succinct.

La notion de « centre de documentation » est pratiquement aussi ancienne que l'écriture. Dès la plus haute antiquité, des bibliothèques se sont créées, dont le but était de réunir en un seul point l'ensemble des textes écrits disponibles.

Autour de ces bibliothèques se réunissait l'élite intellectuelle de l'époque, qui trouvait là les éléments nécessaires à l'étude et à la réflexion. Ainsi apparaissaient déjà fortement associées les notions de documentation et de culture.

Il est à noter que le rôle presque unique de ces bibliothèques consistait à accumuler des documents. Le choix des ouvrages à lire était laissé à la responsabilité des utilisateurs.

Pendant longtemps il ne fut d'ailleurs pas impensable qu'une personne ait, dans une discipline, une culture totale, c'est-à-dire qu'elle ait lu la *totalité* de ce qui avait été écrit dans une branche déterminée de la connaissance. Le nombre des ouvrages était suffisamment faible pour que les problèmes de choix et de tri soient secondaires ou faciles à résoudre.

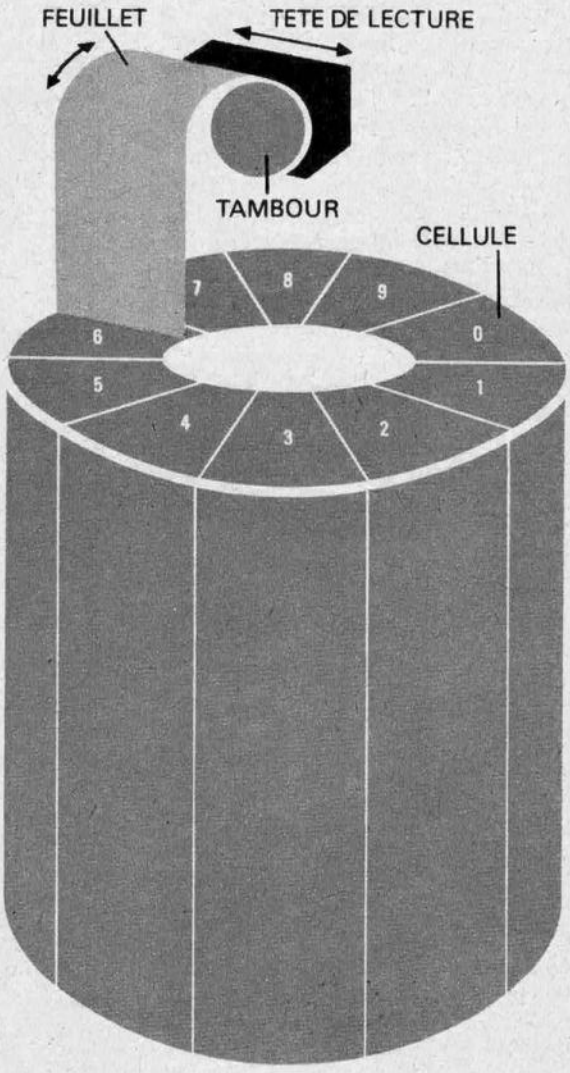
Depuis cette époque, les données du problème de la documentation se sont profondément modifiées. On peut constater, par exemple, qu'il paraît tous les ans entre deux et trois millions de documents scientifiques et techniques représentant environ 40 millions de pages. Dans un domaine particulier, tel que la biologie, il faudrait à un savant plus de quinze années de lecture (au rythme de quatre articles par heure) pour prendre connaissance de tout ce qui se publie en une seule année.

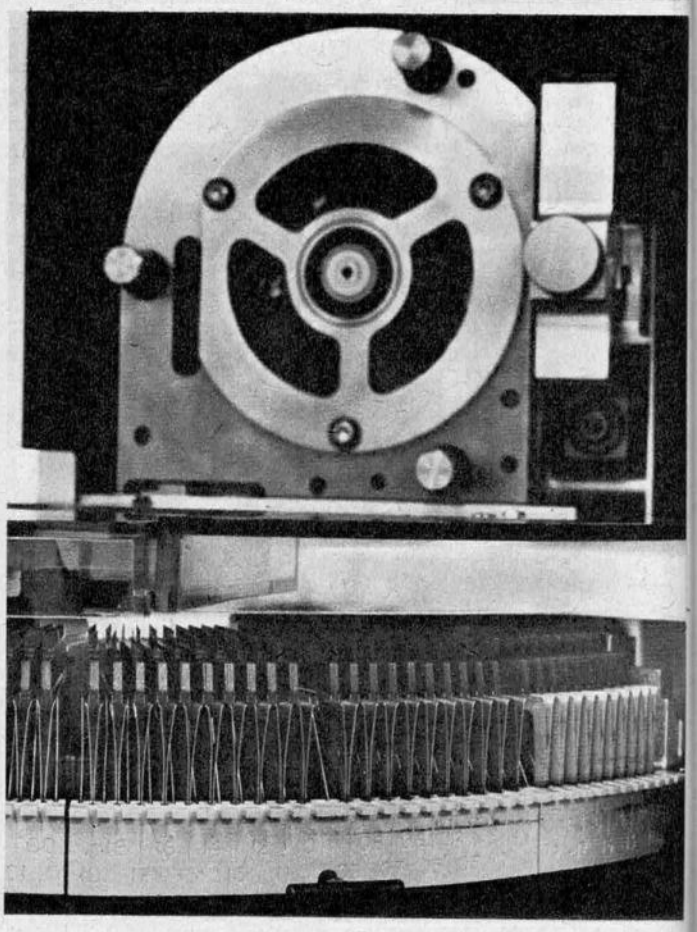
Le rôle des centres de documentation et des bibliothèques a été profondément bouleversé par cet accroissement considérable des textes. Parmi les 45 000 revues scientifiques qui paraissent régulièrement dans le monde, l'utilisateur ne peut plus faire son choix lui-même. Il doit être guidé, aidé. Il attend du centre de documentation un « service », celui d'obtenir dans des délais courts des renseignements précis et complets.

Dans ces conditions, il apparaît que l'implantation d'un centre documentaire doit

National Bureau of Standards, Washington

La mémoire à cellules magnétiques IBM 2321. Elle comporte, comme le montre le croquis, dix cellules placées radialement dans un cylindre vertical qui tourne autour de son axe pour que chaque cellule puisse se placer sous le mécanisme d'accès au lecteur (photo ci-dessous). Dans chaque cellule, 20 sous-cellules, de chacune 10 feuillets magnétiques. Le feuillet sélectionné est extrait et passe sur un tambour horizontal rotatif qui le fait défiler sous la tête de lecture-écriture. La capacité totale est de 400 millions de caractères alphabétiques, avec un temps d'accès moyen de 350 ms. Plusieurs mémoires de ce type peuvent être connectées à un même ordinateur, ce qui rend pratiquement infinies les capacités de stockage d'un tel système.





avoir pour préalable une véritable enquête destinée à bien mettre en évidence les désirs des futurs utilisateurs. Le Centre de documentation se définit ainsi comme un intermédiaire entre les auteurs et les lecteurs, c'est-à-dire en fait entre le producteur et le consommateur.

On peut distinguer deux types d'applications documentaires fondamentalement différents, tout au moins en ce qui concerne les moyens à mettre en œuvre : la recherche dite « informative » et la recherche « bibliographique ».

LA RECHERCHE « INFORMATIVE »

On entend par là la recherche d'un renseignement précis, d'un fait ou d'une valeur numérique. Par exemple, la question : « Quelle est la densité du mercure ? » n'admet qu'une réponse : 13,6. Ce type de documentation, que l'on appelle souvent « documentation factuelle », n'apparaît souvent que comme une partie d'un ensemble plus complexe de traitement de l'information, le renseignement obtenu servant de donnée pour la poursuite d'un calcul. En général, la recherche informative comprend deux phases bien distinctes :

— Une recherche des documents susceptibles de contenir le renseignement demandé (c'est une recherche purement bibliographique).

— Une recherche du renseignement à l'intérieur des documents obtenus. Cette deuxième phase nécessite le plus souvent une présentation normalisée des informations contenues dans le document, afin de permettre leur sélection à l'aide d'un système automatique.

Cette normalisation est quelquefois très difficile à définir. Aussi n'existe-t-il que très peu de centres documentaires capables d'effectuer une recherche « informative » de façon purement automatique. Encore ne le font-ils que dans des domaines très étroits, avec une liste limitative des renseignements disponibles.

Le plus souvent, la recherche du renseignement précis est faite à la main, à partir d'une sélection bibliographique préalable mécanisée.

Ici encore, on peut distinguer deux objectifs distincts : la diffusion sélective et la recherche rétrospective.

LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La *diffusion sélective* répond au besoin exprimé par une personne d'être tenue au courant dès qu'un document susceptible de l'intéresser vient d'être publié. Ceci suppose bien entendu que chaque utilisateur ait pu définir précisément son domaine d'intérêt à l'aide d'une sorte de question permanente appelée « profil ».

Ce type de recherche possède les caractéristiques suivantes :

— le nombre de documents qu'il convient de prendre en charge est faible, à chaque instant ;

— la mise en route d'un service de diffusion peut être rapide car elle ne suppose pas la création d'un fichier cumulatif remontant nécessairement de plusieurs années dans le passé ;

— le système n'exige pas une très grande précision.

En effet, il sera parfaitement acceptable de recevoir une sélection hebdomadaire de cinq documents dont deux seulement correspondent au réel intérêt du chercheur. Bien plus, le « bruit » constitué par les documents non strictement pertinents peut être souhaitable, car il concerne des documents voisins dont l'étude est susceptible d'apporter des idées nouvelles.

La *recherche rétrospective*, autre objet possible d'un centre de documentation, a pour but de retrouver, dans une masse documentaire cumulative, les documents traitant d'un sujet donné. Les caractéristiques de ce type d'application s'opposent totalement à celles que nous avons rencontrées en diffusion sélective :

— la masse de documents à traiter peut être considérable et augmente continuellement ;

— l'application ne peut commencer qu'après l'établissement d'un fichier ;

— la sélection doit être précise. Elle ne couvre pas un domaine général d'intérêt, mais des points particuliers. Dans ces conditions, le « bruit » est inacceptable.

Cette rapide analyse montre que les besoins des utilisateurs, c'est-à-dire, en fait, les objectifs d'un centre de documentation, peuvent être extrêmement variables. Bien entendu, les méthodes et les moyens automatiques à mettre en œuvre varieront égale-

ment. Peut-être faut-il trouver là l'explication du fait qu'il n'existe pas actuellement deux centres de documentation automatique qui soient semblables.

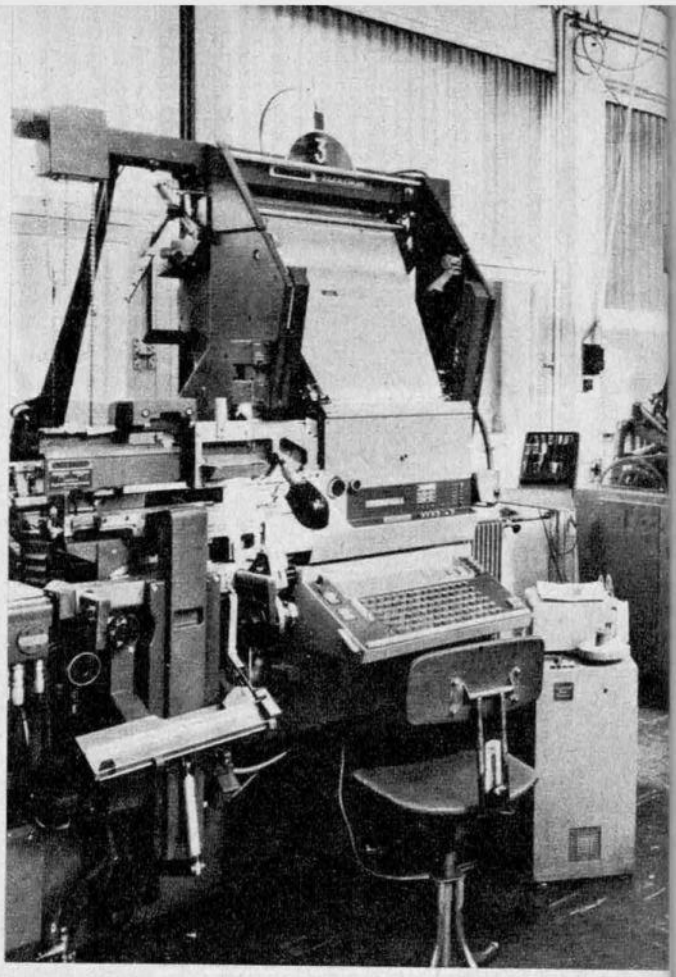
LES MÉTHODES DOCUMENTAIRES : L'INDEXAGE DES TEXTES

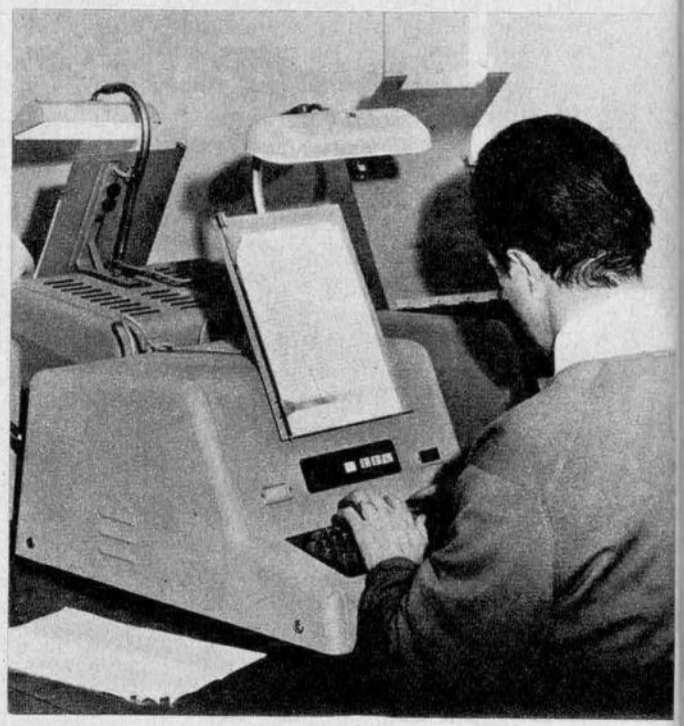
Qu'il s'agisse de documentation « informative » ou « bibliographique », de « diffusion sélective » ou de « recherche rétrospective », il existe un problème essentiel : celui de l'analyse et de la représentation du contenu des documents. Pour venir à bout de cette tâche, les centres de documentation ont mis au point des techniques qui ont longtemps donné satisfaction. La méthode généralement utilisée consistait à construire pour chaque discipline un système de classification qui permettait à la fois d'éditer des catalogues et de constituer des fichiers cumulatifs de recherche. Ces systèmes organisés hiérarchiquement par des divisions et des subdivisions des sujets principaux de chaque discipline reflétaient en fait l'état des connaissances à un moment donné. Ils étaient essentiellement conçus pour diviser la masse documentaire en petits ensembles distincts de manière à faciliter les recherches manuelles. La classification décimale universelle (CDU) est l'exemple le plus couramment utilisé de ce type d'organisation documentaire.

Il est clair que l'utilisation de systèmes classificatoires de ce genre s'adapte particulièrement bien à la recherche mécanographique. La nature rigoureuse de la classification permet d'utiliser les possibilités de tri des machines. D'autre part, le sujet d'un document pouvant être représenté à l'aide d'un code, la recherche de documentation se ramène à la consultation d'une table, opération particulièrement rapide à automatiser.

L'expérience a cependant montré que ces systèmes ne donnaient pas satisfaction en général.

En effet, l'augmentation considérable du volume documentaire imposait des subdivisions de plus en plus fines des systèmes de classification. La difficulté du codage s'en trouvait augmentée d'autant. Les personnes chargées de ce travail devaient avoir à la fois une bonne connaissance des sujets traités dans les documents et l'habitude de systèmes





Une linotype pour la composition automatique au journal Paris-Normandie à Rouen. Le support d'information pour la machine à composer est une bande perforée codée à six canaux que l'on aperçoit à droite du siège sur la photographie en haut de la page. Cha-

de classification de plus en plus complexes. La constitution des fichiers de documents codés devenait un goulot d'étranglement difficile à surmonter.

Le problème devenait pratiquement insoluble lorsque les documents concernaient des techniques évolutives (pour lesquelles, d'ailleurs, une documentation à jour est plus indispensable). En effet, un système classificatoire peut difficilement s'adapter à l'apparition de concepts nouveaux.

Il n'est pas évident qu'il soit toujours possible d'ajouter des subdivisions à une classification existante, car une idée nouvelle peut avoir pour effet de remettre en cause toute la classification antérieure.

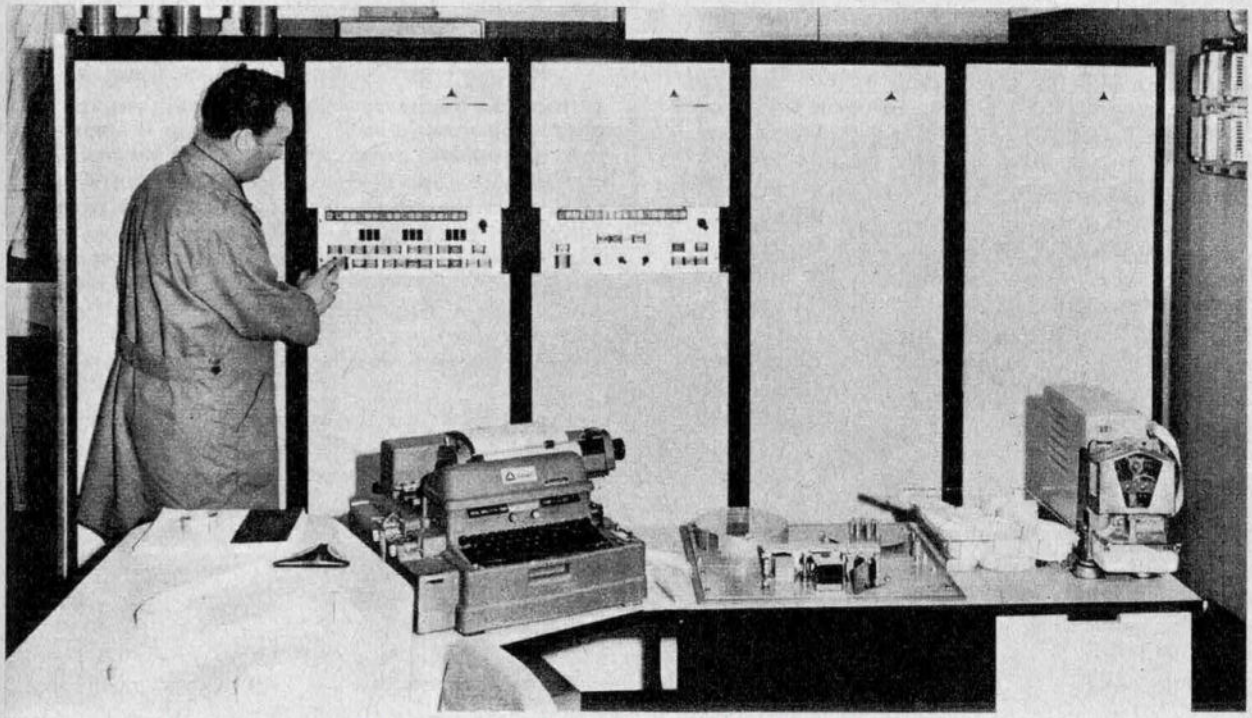
UTILISATION DU LANGAGE NATUREL ET DES ORDINATEURS

Devant ce constat d'échec, il était nécessaire de modifier les méthodes de travail jusqu'alors pratiquées . Heureusement, si le progrès technique était à la source de la marée documentaire, il apportait aussi d'autre part les moyens permettant de l'endiguer. L'ordinateur allait permettre d'échapper aux contraintes imposées par les systèmes de classification.

La signification d'un document (nous ne parlons ici que de documentation scientifique et technique) est parfaitement représentée à l'aide des mots utilisés par l'auteur pour exprimer sa pensée. Si un texte parle du « *traitement de la tuberculose par la streptomycine chez l'enfant* », son sujet est parfaitement défini par cette simple suite de termes.

Les mots du texte sont les outils les plus sûrs et les plus précis pour caractériser les sujets traités dans les documents et les idées qu'ils contiennent.

Ce sont les termes du langage usuel qui constituent alors la base du système de classification et l'on peut dire qu'un document se trouve classé par l'ensemble des mots qu'il contient.



cune des agences régionales du journal (Caen, Evreux, Le Havre...) a préparé une bande (photo à gauche), un lecteur associé à un émetteur acheminant ensuite ces « données » par voie téléphonique vers Rouen à la vitesse de 400 000 caractères à l'heure, soit seize fois la vitesse des télescripteurs usuels. A la réception, la bande perforée est traitée par un ordinateur (photo ci-dessus) qui « justifie » les textes et délivre la bande perforée définitive. Celle-ci est directement utilisable par la linotype automatique.

Compagnie Européenne de Télétransmission.

Dans le « *Dictionary of Linguistics* », Pei écrivait : En recherche documentaire, « mot » a en général sa signification linguistique, à savoir « symbole » écrit ou parlé d'une idée. Puisque la représentation documentaire consiste à symboliser dans un fichier les idées contenues dans les textes, les mots sont un moyen de représentation documentaire particulièrement adapté.

Certes, tous les mots ne peuvent pas être considérés comme des « symboles d'idée ». Les mots grammaticaux, par exemple, n'ont pas de valeur comme expression d'un concept. Cette distinction a amené les documentalistes à préciser leur conception du mot en ajoutant un vocable supplémentaire : mot-clé, mot-thème, mot-vedette, etc.

L'intérêt de cette méthode est qu'elle facilite l'analyse intellectuelle des textes qui doit précéder la constitution des fichiers de recherche : l'analyse se trouve en fait effectuée par l'auteur lui-même au moment où il écrit par le seul choix des termes qu'il utilise. La constitution des fichiers documentaires se limite au simple stockage des documents, sans opération supplémentaire de classification.

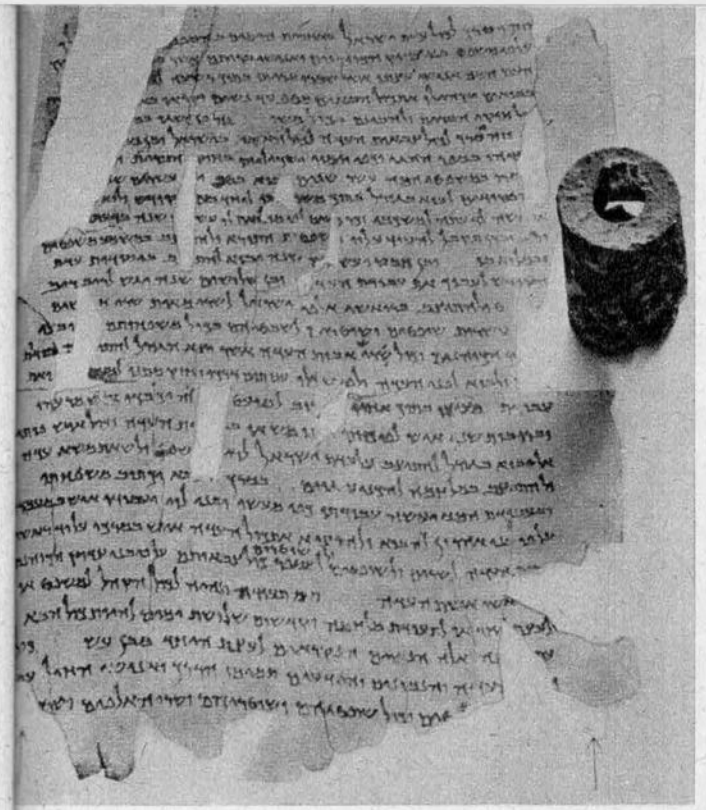
Il est bien entendu qu'un tel stockage n'a de sens que s'il permet de retrouver les documents lorsqu'on en a besoin. Ici encore, la méthode est très simple : Si l'on recherche les textes traitant de l'ECHAUFFEMENT des SATELLITES par FROTTEMENT avec l'ATMOSPHERE, il suffira de constater la présence simultanée de ces termes dans un document stocké pour affirmer qu'il répond à la question. Certes, il n'est pas possible d'effectuer ce travail avec les seuls moyens humains, car il consiste en fait à relire tous les documents accumulés. Mais pour un ordinateur qui peut explorer des textes à la vitesse de plusieurs centaines de milliers de mots à la minute, il s'agit d'une tâche relativement facile. Encore faut-il que les documents aient été « stockés », c'est-à-dire placés dans la mémoire de l'ordinateur. Ceci pose un problème technique. Les ordinateurs ont certes une capacité de mémoire suffisante pour conserver les milliards de caractères constitués par une documentation d'une certaine importance, mais la difficulté réelle est que la machine doit lire les documents pour les stocker en mémoire. Or, actuellement, les ordinateurs ne peuvent lire les textes que si ceux-ci se présentent sous une forme compatible avec les organes d'entrée des machines : cartes perforées, bandes perforées, bandes magnétiques, typographie normalisée, etc.

```
ALGEBRA
   MATH    UF   ALGEBRE
           BT   MATHEMATICS
           NT   BOOLEAN ALGEBRA
                LINEAR ALGEBRA
                MATRIX ALGEBRA
                MODERN ALGEBRA
                VECTOR ALGEBRA
           RT   COEFFICIENTS
                COMPUTATION
                EQUATION
                FORMULAS
                PARAMETER
                VECTORS
```

Exemple de présentation d'un Thésaurus du vocabulaire utilisé en traitement de l'information. Le terme choisi ici est ALGEBRA. Au-dessous, MATH indique le champ sémantique, ici les Mathématiques. Les lettres UF *(used for)* indiquent un synonyme, BT *(basic term)* le terme générique ; NT *(narrow term)* donne la liste des termes spécifiques, RT *(related term)* celle des termes du Thésaurus ayant un certain rapport avec « algebra ». Il existe une disposition semblable pour chaque terme du vocabulaire avec des indices sémantiques divers si le terme a plusieurs significations possibles, et parfois les indications USE (utiliser, voir) pour renvoyer à une autre rubrique, ou HARD *(hardware)* lorsqu'il s'agit de l'organisation d'une machine.

Cette contrainte, purement technologique, empêche actuellement l'introduction courante des textes en mémoire.

Il convient de signaler, à ce propos, l'intérêt que présentent, d'un point de vue documentaire, les réalisations de composition automatique à partir de bandes perforées. Cette application consiste à confier à un ordinateur les travaux de typographie et de mise en page d'un livre ou d'une revue. Le texte à imprimer est présenté à l'ordinateur sous forme d'une bande perforée, analogue



SCROLL NO.	COLUMN NO.	LINE NO.	WORD NO. IN LINE			WORD	FIRST LETTER OF PRE-CEDING WORD	FIRST LETTER OF FOLLOW-ING WORD	CARD SEQUENCE NO. OF WORD
0039	03	03	02			ישראל	ב-		23804
0039	05	04	01	%		ישראל	ש:		23827
0047	01	01	03	%		ישראל	ב-		24345
0047	01	03	02			ישראל	ל-		24355
0087	01	07	08			ישראל	ר		26703
0088	01	08	04	%		ישראל	-		26759
0095	02	11	05	%		ישראל	מ-		27494
0095	02	12	06			ישראל	אר		27504
0105	01	12	04	%		ישראל	דר		28012
0107	03	01	02			ישראל	בב		28110
0110	01	03	02			ישראל	הא		28396
0111	01	04	07			ישראל	א		28482
0112	03	03	02	%		ישראל	-ו		28581
0114	03	02	03	%		ישראל	וב		28950
0114	03	03	03	*		ישראל	וא		28953
0004	08	14	07	*		ישרו	ב:		07947
0107	02	02	02	*		ישרי	דו		28075
0001	20	02	10			ישרים	הפ		03731
0004	03	01	11			ישרים	וו		05869
0004	04	22	04			ישרים	בל		06477
0006	02	02	09			ישרתו	וב		09428
0006	02	03	06			ישרתו	וב		09442
0001	02	04	04			ישרתוהו	אה		00216
0006	12	14	08			ישרתור	וו		11846

A gauche, fragment d'un manuscrit de la mer Morte tel qu'il s'est présenté à l'archéologue. En bas, une section de la première liste des mots relevés dans ces manuscrits, classés alphabétiquement et imprimés en hébreu par un ordinateur IBM 705, avec en regard l'indication de leur position dans les différents feuillets des manuscrits.

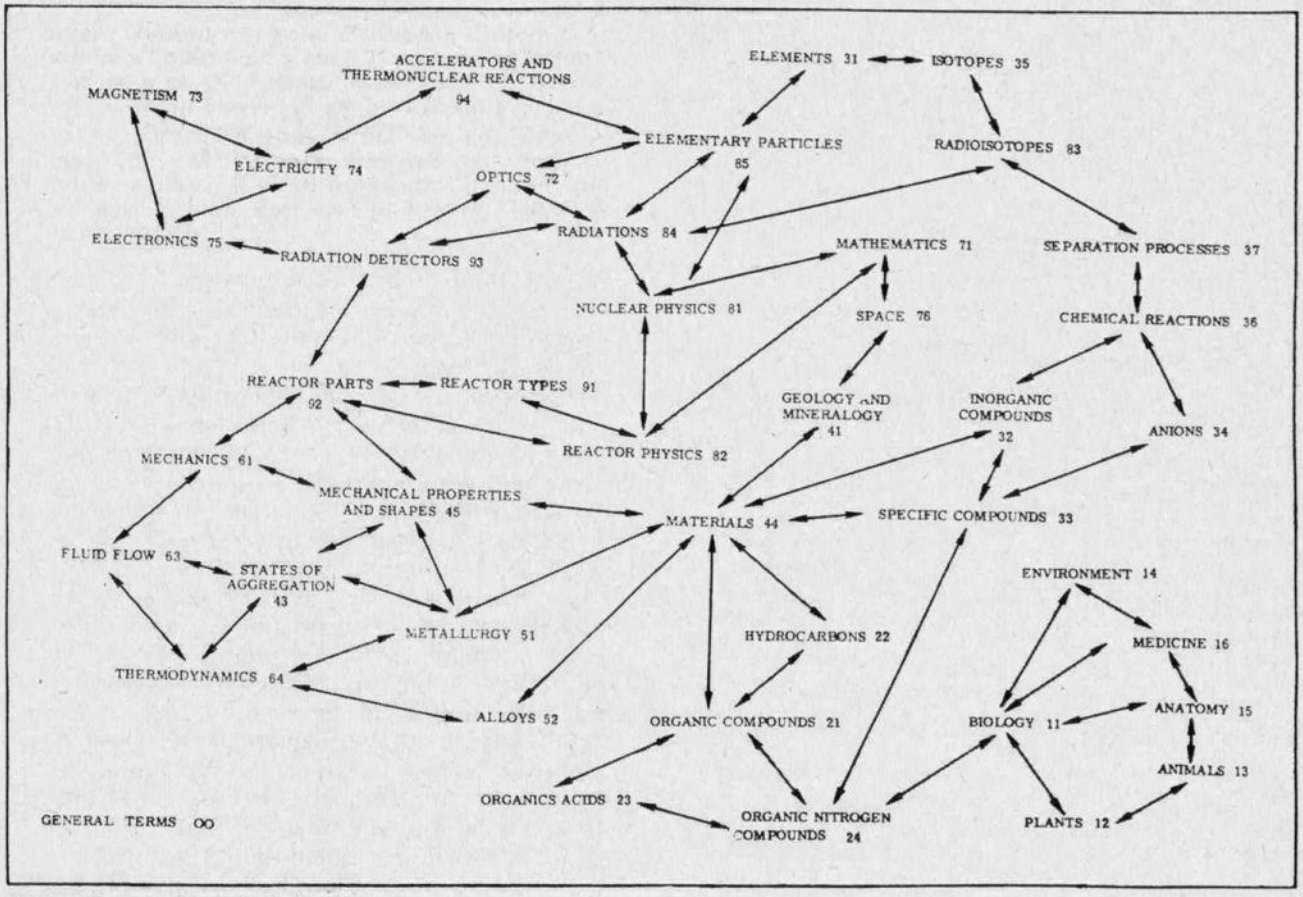
à une bande telex. Bien entendu, ces bandes peuvent être ultérieurement utilisées à usage documentaire pour une mise en mémoire des textes.

Les centres de documentation qui mettent en mémoire des textes intégraux ou des résumés importants sont encore relativement peu nombreux. Un centre de documentation juridique fonctionne sur ces bases aux Etats-Unis à partir des textes de lois et des arrêts de jurisprudence enregistrés en ordinateur. En France, le Centre d'études et de recherches de la compagnie IBM utilise cette méthode pour l'ensemble de ses laboratoires établis en Europe. Par contre, il est déjà impossible de compter les centres documentaires qui enregistrent des listes de mots-clés caractéristiques de chaque document. Une enquête faite en 1966 aux Etats-Unis par la National Science Foundation sur 436 centres de documentation a montré que 31 % d'entre eux utilisent des ordinateurs et que la presque totalité de ces derniers avait abandonné les systèmes de classification traditionnels au profit du langage naturel et des mots-clés.

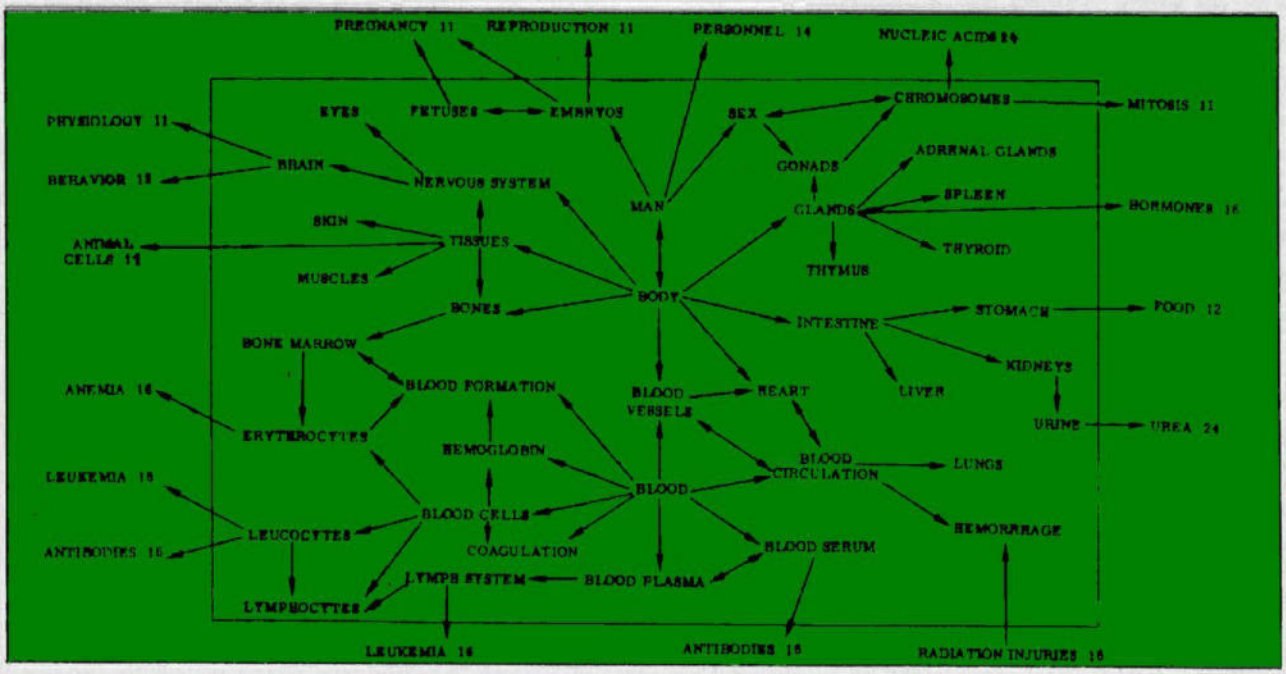
LA DOCUMENTATION SEMI-AUTOMATIQUE

La difficulté que nous avons signalée de placer en mémoire l'intégralité des textes a amené les documentalistes à développer des systèmes dans lesquels l'homme conserve un rôle, soit pour la création des fichiers, soit pour la recherche des documents.

Pour la création des fichiers, la méthode consiste à confier les textes à des analystes qui dégagent pour chacun la liste des mots-clés (en général de 8 à 20 par texte). La liste de ces termes constitue la représentation du document et peut être mise en mémoire à peu de frais. Il faut bien se garder de confondre cette analyse avec le codage tel qu'il existait dans les systèmes de classification. En effet, l'analyste ne se réfère à aucun sys-



National Bureau of Standards, Washington.



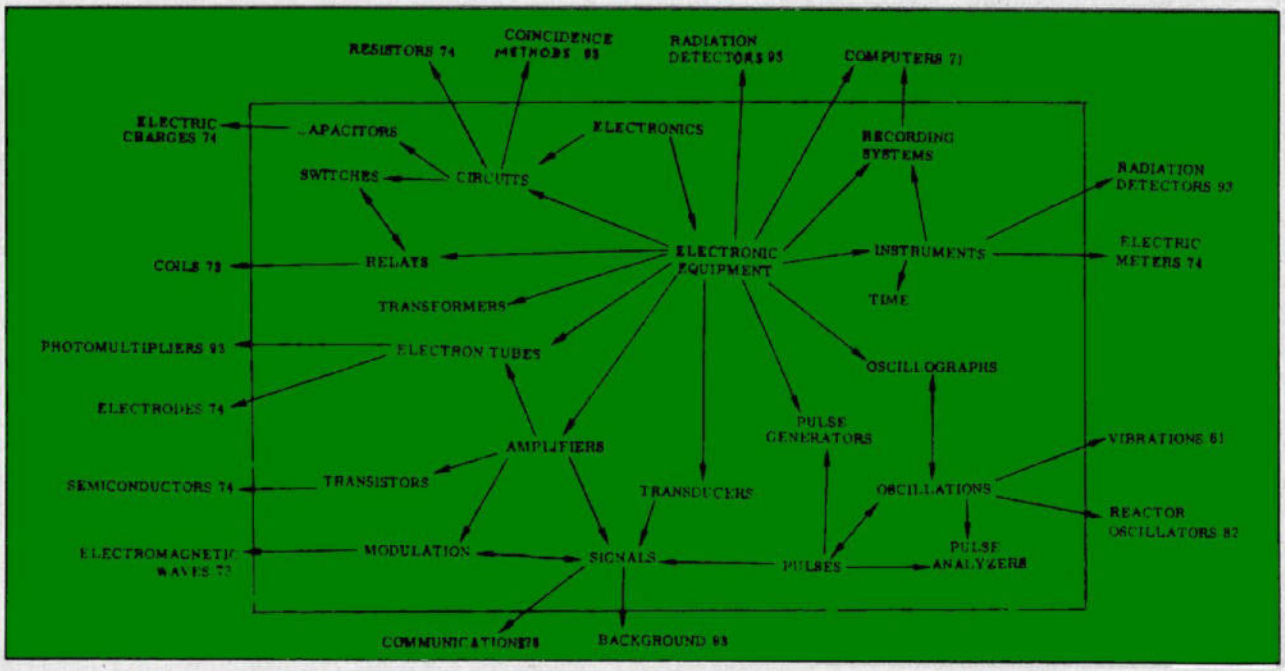
Organisation générale du Thesaurus de l'Euratom mettant en évidence, sous forme de diagramme fléché, les rapports entre les grands sujets traités par cet organisme documentaire. Chaque sujet est repris dans un diagramme du même type auquel renvoie le numéro qui accompagne la rubrique. L'ensemble du Thesaurus est ainsi hiérarchisé : les relations entre les disciplines, puis les relations entre les termes spécifiques de chacune d'elles. Nous donnons ci-dessous, à titre d'exemples, les diagrammes 15 *(Anatomy)* et 75 *(Electronics)*.

tème de classement préétabli, il ne fait qu'extraire du texte les mots qui correspondent aux idées importantes. Il n'est exigé de lui que la compréhension du document et aucune connaissance en matière de documentation. Dans ces conditions, toute personne qui lit (et comprend) un texte est un analyste possible.

L'expérience a montré que le temps nécessaire pour extraire les mots-clés d'un texte était très faible par rapport au temps de lecture. Il convient donc de confier le plus systématiquement possible une fonction d'analyse à toutes les personnes qui sont amenées à lire des documents. C'est ainsi que plus de 4 000 personnes (dont plus de 3 000 correspondants volontaires) participent à la constitution des Chemical Abstracts à Colombus, et que 25 000 personnes travaillent en URSS pour le VINITI, l'Institut national de l'information scientifique.

Les documents mémorisés à partir de l'analyse précédente constituent des fichiers de recherche automatique à partir desquels il est possible d'effectuer les opérations de « sélection rétrospective » ou de « diffusion sélective ».

Une autre méthode consiste à considérer comme mots-clés tous les termes qui figurent



dans un texte en général très court et à présenter la documentation sous forme d'un catalogue de concordances. Cette méthode est essentiellement utilisée pour éditer d'une manière automatique des catalogues de titres. Chaque mot du titre apparaît ainsi comme un critère de recherche possible. Il est imprimé avec son contexte (système KWIC : Key-Word In Context).

L'intérêt de tels catalogues réside bien évidemment dans leur facilité d'obtention, mais aussi dans le fait qu'ils échappent à toutes les contraintes des systèmes de classement et qu'ils utilisent la précision du langage naturel.

PROBLÈMES DE LANGAGE

S'il est certain que l'introduction du langage naturel en documentation a permis de résoudre un grand nombre de problèmes, elle a aussi donné naissance à certaines difficultés. C'est le cas en particulier de toutes les questions soulevées par l'imprécision et les ambiguïtés du langage. Une même notion (indépendamment des problèmes de langues) peut s'exprimer de plusieurs manières différentes. On peut démontrer que lorsqu'il interroge un « fichier », le demandeur n'utilise jamais les mêmes mots que l'auteur qui répond à sa demande. Il ne peut, puisqu'il ne connaît pas en général ce qu'il recherche (sinon il ne le chercherait pas), définir et préciser suffisamment sa demande. Il utilise un vocabulaire dit « du non informé » qui n'a guère de chance d'être le même que celui d'un auteur (vocabulaire de l'informé). C'est pourtant à l'aide des mots imprécis de la demande que l'ordinateur devra effectuer ses opérations de recherche. Mais il faudra qu'il ait, présentes dans sa mémoire, des indications supplémentaires : des listes de synonymes, des dictionnaires analogiques (qui en documentation s'appellent *Thesaurus*), la liste des mots précis qui se trouvent implicitement contenus dans des termes généraux. Ce n'est qu'avec des informations de ce type qu'un ordinateur pourra trouver qu'un document traitant de la RECOLTE du BLE en FRANCE peut être une excellente réponse à une question sur la CULTURE des CEREALES en EUROPE.

Tout un travail d'étude du vocabulaire, de définition précise des termes scientifiques, de recherche des liaisons entre ces termes doit donc être entrepris. Il faut d'ailleurs noter que ce travail déborde largement le cadre d'une langue. En fait, une documentation ne peut plus se cantonner aux textes écrits dans un seul pays.

Les problèmes de documentation automatique nous amènent ainsi à aborder certaines questions qui, jusqu'à présent, avaient été traitées d'une manière indépendante : problèmes de traduction de langues, d'analyse automatique des textes, de statistiques linguistiques. Fort heureusement, des études avaient été poussées parallèlement dans ces différentes directions et les résultats obtenus ont été immédiatement disponibles à des fins documentaires.

DOCUMENTATION ET TRADUCTION DES LANGUES

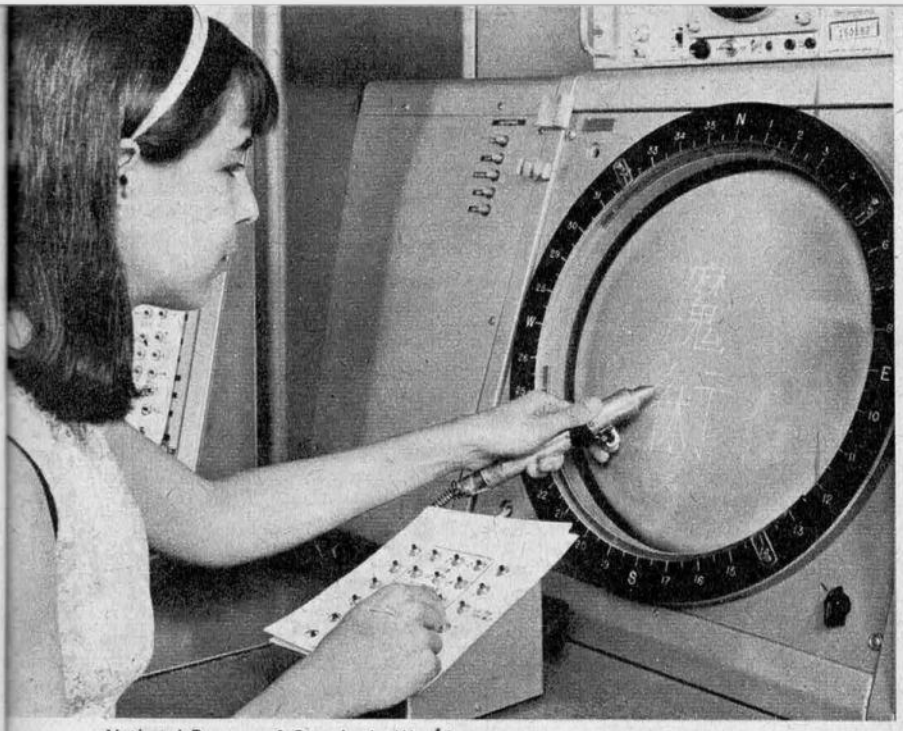
Les premiers travaux effectués en vue de la traduction automatique des langues avaient permis de mettre au point des dictionnaires multilingues. En documentation, la traduction d'un mot-clé apparaît comme un synonyme particulier et l'utilisation du langage naturel n'apparaît donc pas comme un obstacle à la création de centres de documentation internationaux.

Les recherches actuelles en traduction automatique sont maintenant consacrées aux problèmes de syntaxe et de structure des phrases. Bien entendu, ces travaux sont immédiatement utilisables pour la documentation lorsqu'on aborde les problèmes d'indexage automatique ou l'étude des rapports de syntaxe qui existent entre des mots-clés.

Par exemple, entre les deux termes OUTIL et ACIER, il peut exister plusieurs relations différentes. Au cours d'une sélection documentaire ceci pourrait amener la sortie simultanée des documents traitant des OUTILS pour ACIERS et de ceux relatifs aux ACIERS pour OUTILS. Ces deux types de documents sont distincts et seule une analyse syntactique, opérée soit au moment de la création du fichier, soit au cours de la sélection, peut lever l'ambiguïté.

TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES LANGUES

Depuis fort longtemps déjà, les ordinateurs ont été utilisés dans le but d'étudier les langues écrites. Il s'agissait de fournir



National Bureau of Standards, Washington.

Une étude linguistique sur l'écran de visualisation d'un ordinateur « Magic » (Machine for Automatic Graphics Interface to a Computer). Elle porte ici sur l'articulation des constituants élémentaires des caractères chinois. Les corrélations révélées par la machine dans ces études servent de guides pour l'élaboration de grammaires pour de tels langages.

aux linguistes un certain nombre de renseignements relatifs à l'emploi de certains termes, leur fréquence d'apparition, leurs différents sens possibles en fonction des auteurs, des dates, ou des contextes. Certaines de ces études ont apporté des renseignements précieux quant à la datation de textes anciens, l'identification de l'auteur ou l'interprétation de fragments de textes. L'un des travaux les plus spectaculaires effectués dans ce sens sur ordinateur a concerné il y a plus de dix ans déjà les manuscrits de la Mer Morte.

L'ensemble de ces études a permis aux linguistes de mettre au point des méthodes d'analyse objective du phénomène langage. Ces méthodes trouvent une application immédiate en documentation puisque le langage naturel devient l'outil essentiel du documentaliste.

Ainsi peut-on déjà avoir une idée de ce que sera la documentation de demain. Un premier aspect concerne le rôle des documentalistes. Jusqu'à présent leur fonction était essentiellement de créer des fichiers documentaires par lecture et codage des textes, et d'effectuer des recherches dans ces fichiers. Nous avons vu que, même dans les applications semi-automatiques, la création des fichiers pouvait être fortement décentralisée et confiée à toute personne susceptible de comprendre le document. Quant aux opérations de recherche, elles peuvent être rendues totalement automatiques.

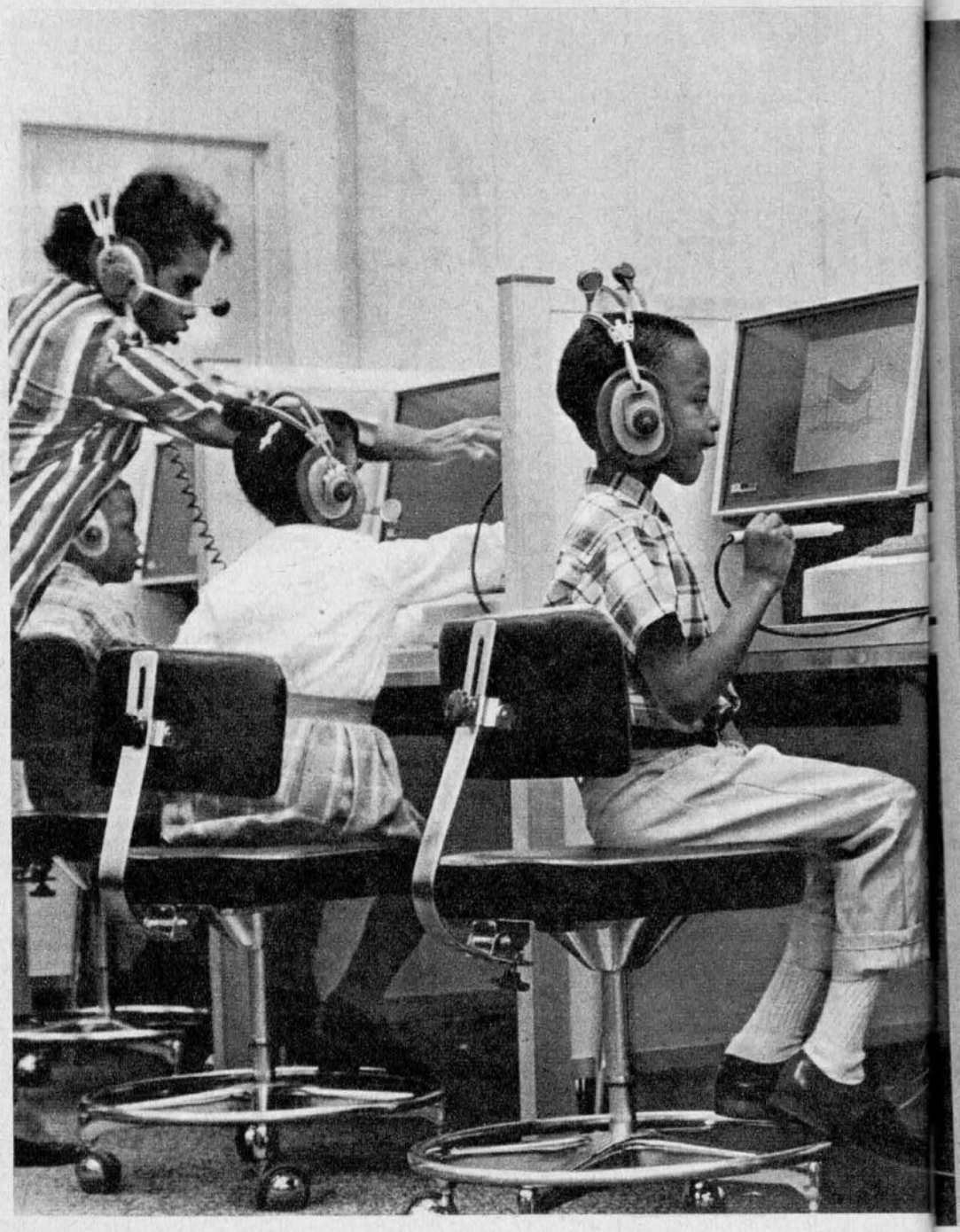
Il reste aux documentalistes un rôle nouveau et très important à jouer : celui de la connaissance de l'outil documentaire, c'est-à-dire du langage. C'est au documentaliste à connaître et étudier le sens exact des termes utilisés par les auteurs, les voisinages de signification entre ces termes, les différences de sens d'une langue à l'autre, d'un auteur à un autre, et au cours du temps. Il s'agit d'un travail important exigeant quelquefois des moyens considérables : pour la seule révision du Thesaurus de l'ASTIA (Armed Services Technical Information Agency), aux Etats-Unis, le budget dépassera probablement trois millions de francs actuels.

L'importance des efforts à accomplir et des moyens à mettre en œuvre, le volume de la documentation à traiter chaque année suppose d'autre part une coordination à un niveau élevé, sous forme de groupements professionnels, nationaux ou internationaux. Un centre de documentation qui veut couvrir une discipline ne peut maintenant être conçu que s'il s'adresse à un grand nombre d'utilisateurs. Il n'est plus possible d'entretenir un foisonnement de petits centres, peu ou mal outillés.

Des études ont déjà été faites pour la création de Centres nationaux de documentation. Mais il serait bon de commencer dès maintenant la constitution des fichiers, car un centre ne peut valablement fonctionner que si son stock documentaire couvre une période suffisamment longue.

Il serait dommage de ne pas entreprendre cet effort sans lequel les études sur la documentation automatique risqueraient de n'avoir eu pour effet que la parution de documents supplémentaires et la création d'un néologisme, la « documentologie ».

Francis LÉVERY



ENSEIGNEMENT ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION

Un écolier de Palo Alto, en Californie, choisit à l'aide d'un « stylet lumineux » la réponse à une question posée par un ordinateur IBM 1500 sur l'écran de visualisation de son pupitre. Il ne s'agit encore, à titre expérimental, que de l'enseignement de la lecture et de l'arithmétique élémentaire.

Pour essayer d'y voir clair au milieu de tous les articles à sensation qui nous promettent le remplacement du professeur par la machine et, par voie de conséquence, la fin des soucis en matière d'éducation et l'âge d'or de la conquête de l'intelligence, il nous faut comprendre comment on raccorde la pédagogie à l'information et à l'informatique.

Pour tous ceux qui s'occupent de systèmes d'enseignements, la pédagogie est *l'opération de transmission d'informations à un être humain en vue de les fixer dans sa mémoire.*

Cette définition simple résume un problème complexe que nous allons essayer d'analyser. Quel est le personnage essentiel en pédagogie ? Est-ce le professeur détenteur du savoir ? Est-ce l'élève ? L'élève est d'abord un consommateur. Il consomme des informations, éléments de base des connaissances. Cette consommation pose un double problème, celui de l'ingestion des connaissances et celui de leur digestion en vue d'un progrès dans la conduite active ou réflexive de l'élève.

De même que le publicitaire conseille astucieusement un industriel pour lui faire choisir l'action publicitaire la mieux adaptée à la motivation du consommateur, le conditionnement le plus propre à son désir d'achat, l'argumentation la plus percutante pour obtenir un pivotement d'attitude, de même on souhaite, pour faire face à l'élévation nécessaire du niveau culturel de la population, une efficacité accrue, un véritable enseignement de promotion qui permette à chacun de tirer le meilleur parti de lui-même.

Vue sous cet angle, l'entreprise de formation, à l'école, au lycée, à la Faculté ou dans le domaine de la promotion sociale, se caractérise par un souci de rendement.

A l'échelle de l'individu, l'enseignement pose d'abord un problème *qualitatif*, et non quantitatif comme beaucoup le croient. Ce n'est pas en répétant trois ans le même cours à un élève que l'on fixe ce cours dans sa mémoire. La compréhension ne naît pas de la multiplication des exposés, fussent-ils très bien faits, mais de la qualité de l'étudiant, c'est-à-dire du récepteur d'information.

Est-il motivé ? A-t-il une mémoire encombrée ? Est-il en mesure de stocker l'information ? Accepte-t-il de participer à la gestion de sa propre formation ou rejette-t-il systématiquement ce qu'on lui propose ? A partir de quel moment la densité du contenu informationnel devient-elle un facteur bloquant ? A quel niveau d'abstraction reçoit-il les informations ? Est-il préparé, entraîné au maniement du langage, c'est-à-dire à la possibilité de lier un *signifié* — concept ou chose déterminés — à un *signifiant* ? L'effet de l'information, ou sémantique de l'information, qui marque chez le « récepteur » la correspondance entre le signifiant et le signifié, c'est-à-dire la signification qu'il lui attribue, mettra en relief la qualité sémantique de l'information.

Parfois, l'on s'apercevra de la nécessité d'un « nettoyage » dans la mémoire de celui qui reçoit, pour le rendre apte à décoder ce qu'on veut lui communiquer. Comme l'a si bien remarqué Bachelard, on enseigne « contre quelque chose ».

LA PROGRAMMATION PÉDAGOGIQUE

L'individu en situation d'apprendre constitue un *système dynamique complexe*. Il faut prendre en compte non seulement son niveau intellectuel, mais bien d'autres facteurs tels que la qualité de son expérience personnelle, son besoin d'information, son besoin de confrontation, les conditions de l'environnement et les circonstances fluctuantes de l'action.

La programmation pédagogique vise à accroître l'efficacité de l'enseignement. Elle s'appuie sur la connaissance des processus d'apprentissage, de l'activité psychologique, de l'environnement socio-culturel et socio-économique de celui qui apprend. Elle tient compte de la nature des connaissances à acquérir. Elle cherche à déterminer le mode de présentation didactique le plus efficace pour obtenir une acquisition et une rétention mnémonique maximales.

La méconnaissance d'un de ces éléments peut être un facteur bloquant dans la transmission et l'acquisition des connaissances. Chacun d'entre nous a le souvenir de facteurs bloquants qui lui sont personnels. J'en citerai quelques-uns connus des enseignants :

— tel élève recherche vainement le facteur temps dans « le moment d'une force » parce qu'il utilise le mot « moment » lorsqu'il se préoccupe d'instant ;

— difficultés scolaires des enfants dont les familles connaissent des difficultés matérielles ou affectives ;

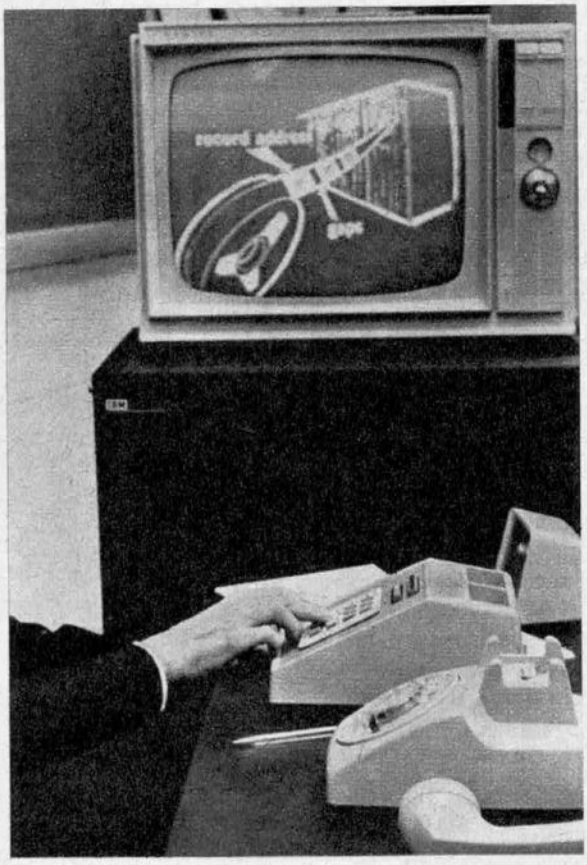
— effet très limité de l'alphabétisation traditionnelle chez les adultes analphabètes ;

— inconfort des amphithéâtres, etc.

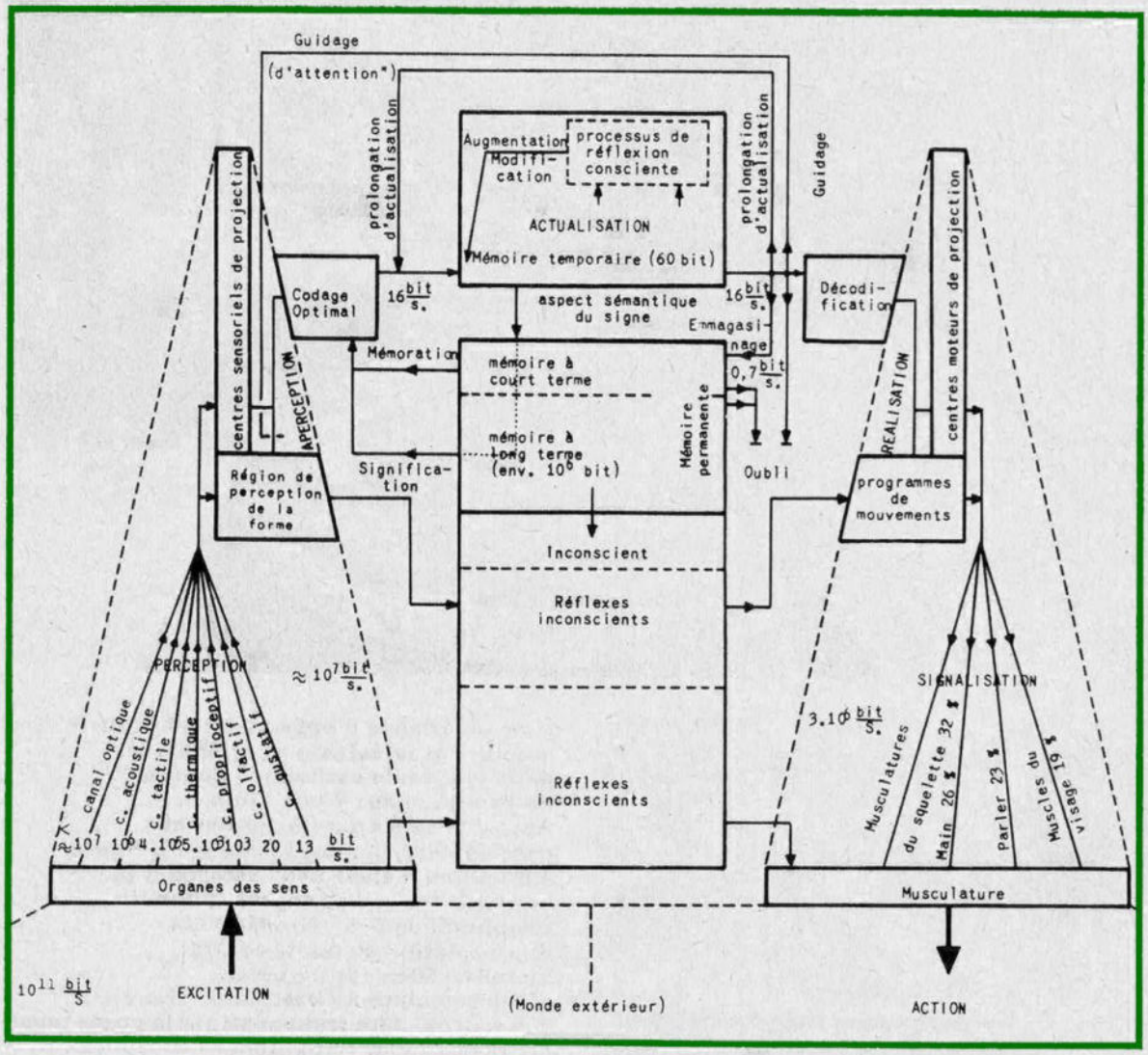
L'efficacité de l'enseignement est liée à la connaissance de tous ces facteurs, à leur évaluation (sont-ils favorables ou bloquants ?), à une vue globale et intégrée de leur ensemble. Plus encore, il apparaît qu'il n'existe pas de solution toute faite, sorte de voie royale à une action d'enseignement. Celle-ci apparaît comme un système complexe de réglages personnalisés d'un émetteur sur un récepteur d'information.

UN SOUS-ENSEMBLE DE LA PROGRAMMATION PÉDAGOGIQUE : L'ENSEIGNEMENT PROGRAMMÉ

Le premier effort des pionniers de l'enseignement programmé a visé à reconstituer les conditions de la leçon particulière. Ils ont appuyé leur méthodologie sur les données de la psychologie. Comme il ne pou-



Une expérience d'enseignement individuel combinant télévision et ordinateur dans une école catholique du diocèse de Brooklyn aux États-Unis. Après un cours sur l'informatique, précisément, comme le montre la figure sur l'écran, l'élève peut demander par boutons poussoirs sur un appareil téléphonique des compléments d'information au poste central, installé à 80 km de distance, où un calculateur IBM 360-40 choisit la vue fixe qui sera transmise par le poste local de télévision et fait entendre la réponse vocale préenregistrée appropriée, accompagnée de questions de contrôle. Ci-contre, le poste de l'élève et, ci-dessus, l'ordinateur central avec les piles de disques magnétiques portant les enregistrements.



L'homme, système complexe émetteur et récepteur d'informations. Voici une représentation schématique donnée par un savant allemand, Helmar Franck, qui veut éclairer le processus de transformation dans l'organisme humain. Cette thèse est exposée dans un ouvrage en français « Pédagogie et Cybernétique » (Gauthier-Villars, édit.). Une partie de l'information des signes (syntactique) est reçue venant des centres sensoriels dans la mémoire temporaire ; l'information sémantique qui lui est éventuellement liée est déchiffrée par la mémoire permanente. Des souvenirs affluent à la mémoire temporaire, s'actualisent et s'ajoutent. Il en résulte des signaux dirigés vers les centres moteurs et les régions où les programmes de mouvement sont emmagasinés.

vait être question de confier à un professeur un seul étudiant, il a bien fallu imaginer des systèmes appropriés.

Il existe deux types fondamentaux d'enseignement programmé. Ils posent le problème de l'enseignement en termes d'obstacles à franchir.

L'enseignement linéaire a été défini par le professeur Skinner, de l'Université de Harvard, qui l'a pensé en termes d'obstacles. Il s'est expliqué sur ce sujet : les difficultés rencontrées par sa fille en mathématiques l'ont conduit à imaginer qu'il pouvait y avoir, dans l'enseignement, une application intéressante de ses recherches sur la psychologie du comportement.

Quels sont les obstacles s'opposant à l'acquisition des connaissances auxquels s'est attaquée la programmation linéaire (on dit aussi skinnérienne, du nom de son inventeur) :

— trop de difficultés bloquent l'apprentissage ;

— le rythme collectif imposé par la classe décourage les plus faibles et les plus forts ;

— l'attention de l'élève se disperse si elle n'est pas constamment sollicitée ;

— l'attente du résultat qui suit une réponse de l'élève annihile l'intérêt porté au travail et conduit à la mémorisation d'idées fausses.

Rendons-lui cette justice, le professeur Skinner a trouvé une solution pour franchir ces obstacles :

— le grand nombre de difficultés présentées simultanément est remplacé par une atomisation des connaissances où les difficultés sont isolées et graduées ;

— chaque élève opère selon son rythme personnel ; le cours se présente sous la forme d'un questionnaire, chacune des questions étant très courte (30 mots), rédigée de manière que la bonne réponse soit pratiquement suggérée dans l'exposé de la question ;

— l'élève doit répondre effectivement (« réponse construite »), par écrit la plupart du temps ; ainsi sa participation active a un effet stimulant sur son attention ;

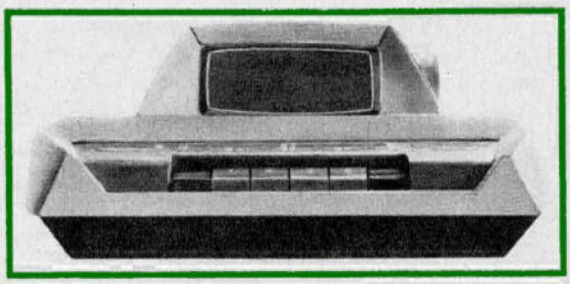
— l'auto-contrôle qui suit immédiatement sa réponse constitue un « renforcement ».

Dans l'enseignement linéaire, l'outil pratique qui évite toute fraude (lecture de la bonne réponse avant que l'élève fournisse sa propre réponse) est une machine à rouleau. Celle-ci présente successivement les questions sur une bande où la place de la réponse est laissée en blanc. Après avoir répondu, l'élève fera progresser la bande et la réponse passera sous un cache transparent. A ce moment seulement, la réponse exacte est totalement apparente.

LA PROGRAMMATION RAMIFIÉE

Dans une programmation linéaire, tous les élèves parcourent donc le même cheminement dans la progression de leur apprentissage. Seuls diffèrent les temps mis par chacun pour parvenir au même niveau de connaissance.

Un autre américain, électronicien de profession, s'est penché, lui aussi, sur le problème des obstacles à l'acquisition des connaissances. Un deuxième type de programme est né : les *programmes ramifiés* ou *crowdériens*, du nom de leur inventeur, Crowder.



Exemple de machine à tester les connaissances, utilisant des programmes ramifiés (S.F.P.P.). L'information est présentée extérieurement à la machine. Les réponses proposées apparaissent sur l'écran de la visionneuse. L'élève choisit une réponse que note la machine. En cas d'erreur, elle lui fournit la réponse exacte pour qu'il puisse se corriger.

Crowder pense que l'erreur a un aspect positif. Pour lui, l'atomisation des connaissances nuit à la compréhension synthétique. Il conserve les principes du rythme personnel, du contrôle immédiat et de la participation active.

Le programme ramifié présente les connaissances en longues séquences qui ne sont plus de trente mots mais peuvent atteindre une page. Chaque séquence est un ensemble d'informations suivi d'une question. La réponse de l'élève n'est plus « construite » mais résulte d'un choix entre plusieurs réponses dont l'une est exacte et les autres sont erronées. Ce choix sert de diagnostic. Si la réponse est exacte, l'élève progresse en passant à une autre réponse qui n'est pas forcément la suivante dans l'ordre de la présentation ; si la réponse est erronée, l'élève est renvoyé à une information spécifique lui permettant de se corriger grâce à un nouveau choix.

L'outil le plus simple pour ce type de programmation est le *livre brouillé*. On saute plusieurs pages, on revient en arrière. L'élève doué ne lit qu'une partie du livre. Les outils plus complexes sont des machines à choix multiple où l'élève se trouve devant un clavier dont les touches correspondent aux choix.

En conclusion, dans un programme à choix multiple, le cheminement comme le temps d'apprentissage peuvent varier en fonction des capacités et du comportement de l'élève.

L'expérience prouve que l'on obtient des effets variables et qu'il est très difficile d'établir des corrélations.

En fonction du contenu des connaissances, émiettables ou non, du niveau des élèves (moyens ou médiocres), des situations pédagogiques,... le choix d'un type de programme devrait être déterminé. Or, il apparaît que dans ce domaine rien ne peut être recommandé d'emblée :

— faut-il mélanger les types de programmes sans les confondre ?

— faut-il les combiner dans une systématique plus large ?

Malgré ces difficultés, l'enseignement programmé constitue un progrès méthodologique certain et a le mérite d'avoir donné un moteur nouveau à la prise de conscience de l'acte pédogogique.

PROGRAMMATION PÉDAGOGIQUE ET INFORMATIQUE

Dans « l'enseignement programmé », quelle qu'en soit la forme, il y a un système qui aboutit à une suite logique d'opérations fondamentales :

— révélation d'un ensemble d'informations, suivi d'une question ;

— réaction de l'étudiant ;

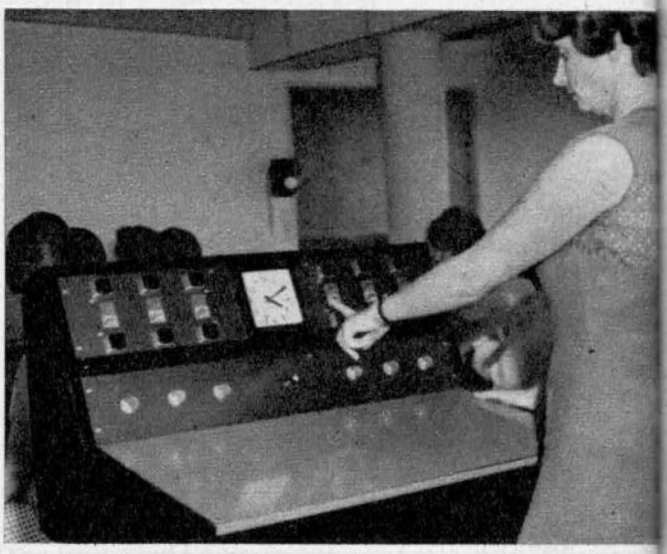
— analyse plus ou moins poussée de la réponse conduisant à une simple confirmation ou à un diagnostic ;

— correction par l'étudiant, soit par comparaison, soit par information spécifique et nouvelle question.

Cet ensemble d'opérations peut être partiellement ou totalement automatisé. Le degré d'automatisation fait intervenir la notion de coût et de rendement. Il semble que les techniques de l'informatique puissent apporter une nette amélioration puisqu'elles font passer la recherche, la collecte, la conservation, la mise en ordre et l'élaboration des informations en vue de leur utilisation pédagogique d'un stade artisanal très empirique à un niveau industriel plus scientifique et plus technique.

Une question se pose : l'automatisation

Sur cette machine à enseigner individuelle, MITSI, l'élève peut construire une réponse de quelques mots ou faire un choix. Il y a utilisation conjointe du son et de l'image et la possibilité intéressante d'inscrire des notations complémentaires sur une bande asservie à la progression de l'utilisateur.



S.F.P.P

Le laboratoire d'auto-instruction a une fonction plus large que le simple emploi de machine. Il peut être utilisé pour l'enseignement collectif, semi-collectif, plural et individuel. Pour l'enseignant, il permet le contrôle de la réceptivité des élèves et l'adaptation du cours au niveau de l'auditoire. Pour l'enseigné, il individualise le contrôle de l'apprentissage et permet la récupération immédiate.

doc. SINTRA

des processus pédagogiques conduit-elle à une augmentation de la productivité des « entreprises de formation » ? La réponse est affirmative sous certaines conditions.

Si nous essayons de faire un bilan des recherches en enseignement automatisé, la première constatation est que ces recherches existent, soutenues d'une manière limitée par les pouvoirs publics et encouragées par les constructeurs, qui restent cependant très prudents dans leurs efforts car la mutation des esprits et des structures nécessaires au développement du traitement de l'information reste à faire.

Aux Etats-Unis, en U.R.S.S., en Angleterre, en Allemagne, dans les pays scandinaves, on cherche, on réalise, on expérimente. En France, un centre de documentation sur l'enseignement programmé s'est installé à Paris, rue d'Ulm.

La production de programmes reste néanmoins limitée ; ici un programme d'enseignement, là un programme de formation du personnel technique, ailleurs l'enseignement de la géométrie.

Eventuellement, on importe des programes déjà élaborés que l'on adapte.

Des projets se rapportant à l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement sont en route. On note, en 1967, dans les actions concertées de la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique :

— des recherches relatives à la structuraton de la matière à enseigner ;

— un projet d'enseignement programmé sur calculateur du certificat d'hématologie à la Faculté de Médecine de Paris ;

— l'interrogation des étudiants sur ordinateur à la Faculté des Sciences de Paris.

Des réalisations plus ou moins spectaculaires se succèdent :

— depuis 1965, au laboratoire d'informatique de la Faculté de Toulouse, on utilise un système avec calculateur permettant aux étudiants d'effectuer des travaux pratiques concernant la programmation sur ordinateurs ;

— En 1966, des laboratoires d'auto-instruction de conception française ont été installés dans l'industrie, en particulier dans celle du pétrole. Pouvant être utilisés pour l'enseignement collectif ou plural ou individuel, ils permettent une semi-automatisation des moyens de formation et un contrôle systématique.

Si l'on regarde vers les Etats-Unis, on y constate la création de centres d'études, de recherches et d'application de plus en plus nombreux pour l'utilisation des machines à enseigner et des ordinateurs.

A titre d'exemple, la division Instructional System de R.C.A. installera 150 terminaux à la fin de l'année dans des établissements scolaires et espère en ultime ressort doter les grandes villes des U.S.A. de centres analogues à celui de Palo-Alto (Californie) :

« Chaque écolier des classes élémentaires connectées à l'ordinateur sera journellement appelé à s'entraîner entre cinq et vingt minutes sur l'ordinateur, dans chacune des

```
r s
W 1521.5
WHICH SCRIPT PLEASE
french

WHICH DRILL, PLEASE.
etfr1

CHANGE THE FOLLOWING STATEMENTS INTO QUESTIONS BY INVERSION.
DO NOT USE QUESTION MARKS.

IL EST DANS LA CHAMBRE.
est-il dans la chambre

BIEN.
ILS ARRIVENT DE LA GARE.
arivent-@arrivent-ils de la gare

BIEN.
VOUS VOULEZ VOIR LA MALLE.
voules-vous voir la malle

I DON'T COMPLETELY UNDERSTAND YOUR STATEMENT
voulex#z-vous voir l #am# malle

BIEN.
ELLE S'APPELLE SUZANNE.
s'appelle-t-elle suzanne

BIEN.
PHILLIPE EST FRANCAIS.
phillipe, est-il francais

PLEASE REWORD YOUR STATEMENT
phillipe est-il francais

BIEN.
NOUS SOMMES TRES HEUREUX.
sommes-nous tres heureux

BIEN.
END OF ETFR1.

NUMBER WRONG--0 OUT OF  6.0
WHICH DRILL NEXT, PLEASE
 QUIT,
```

Un exemple de dialogue entre un ordinateur et un élève pour l'enseignement des langues, ici le français pour un Américain. Les échanges se font sur machine à écrire, le calculateur demandant éventuellement à l'élève de corriger sa réponse si elle est inexacte ou son orthographe si elle est défectueuse. A la fin de l'exercice, la machine indique le nombre de réponses erronées, ici 0 sur 6 questions.

trois matières de base : lecture, orthographe, arithmétique. La machine reconnaît l'élève et adapte ses questions et ses exercices au niveau de celui-ci ; elle enregistre ses bonnes et ses mauvaises réponses et lui donne les résultats à la fin de chaque séance... Au cours de leur 99e Congrès annuel, les administrateurs d'écoles américaines (ils étaient 30 000) se sont accusés de mal connaître les services que peuvent rendre les « machines à enseigner » et les ordinateurs à l'enseignement. Ils ont reconnu que ces instruments permettent de faire de *l'enseignement sur mesure* ».

En France, M. Aigrin, actuel Délégué à la recherche scientifique et technique, s'exprime ainsi :

« Pour qu'une telle opération soit rentable, il est nécessaire qu'elle touche un grand nombre d'individus, que les stations terminales soient utilisées à plein temps et que les programmes enseignés ne se démodent pas trop vite. »

L'ordinateur est un outil capable de traiter l'information en grande quantité dans des conditions de rapidité et de sûreté très grandes.

L'enseignement programmé, qui pose le problème d'une organisation de l'information et du dialogue en fonction des réponses de l'étudiant, trouvera-t-il là son outil de prédilection ? Cela dépend de son utilisation. Pour préciser notre point de vue, nous allons essayer de parcourir la voie qui a préparé l'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement.

LA MACHINE A ENSEIGNER : UNE AUXILIAIRE

Il nous faut d'abord situer la place de la machine auxiliaire d'enseignement. La formule « la machine remplacera le professeur » pose, en vérité, un faux problème et a pu, à juste titre, susciter des réactions parfois très vives. La machine ne peut être qu'une auxiliaire du professeur.

Qu'est-ce d'abord qu'une machine auxiliaire d'enseignement ?

C'est un dispositif mécanique, électrique ou électronique lié directement ou indirectement à des informations, permettant d'établir une relation entre le récepteur de l'information, c'est-à-dire l'élève, et l'information transmise.

La nature de cette relation varie considérablement suivant les machines. Ce peut être simplement un moyen de révélation de l'information progressant à un rythme donné par l'élève. Ce peut être un système interrogatif, individuel ou collectif, indiquant à l'élève la réponse à des questions posées au cours de la transmission de l'information. Le système peut être doté d'une mémoire qui enregistre les résultats et les modalités des réponses (temps, tâtonnements, types d'erreurs, etc.).

Les machines auxiliaires d'enseignement, l'élève, la machine à enseigner, les conditions de l'enseignement, leur place dans le processus pédagogique forment un système. Les machines les plus perfectionnées ne valent qu'en fonction de leur insertion dans la réalité pédagogique en dehors de laquelle tout produit de la technique la plus évoluée perd de son intérêt. Forts de cette réserve, réduisons le système à ces deux composantes : « élève-machine à enseigner ».

Sans entrer dans les détails, classons les systèmes par ordre de complexité :

— *les systèmes simplement réflexes :* à une erreur de l'élève, une réaction particulière de la machine le lui signale (sonnerie, feu rouge...) ;

— *les systèmes programmés* qui ont introduit en mémoire les informations et qui, à une erreur donnée de l'élève, prévoient un retour en arrière conforme à la logique propre des modèles d'apprentissage en mémoire ;

— *les systèmes auto-adaptatifs* qui indiquent l'erreur, adaptent le guidage du rattrapage aux conditions spécifiques de l'apprentissage : fourniture d'informations complémentaires tenant compte de la nature de la réponse, de son degré de vérité.

L'ordinateur se présente comme l'instrument idéal de ce dernier type de système. En effet, il est possible de lui demander de nombreuses fonctions : présentation des informations, enregistrement des erreurs, mesure de la vitesse d'acquisition, adaptation de la vitesse de progression aux réactions de l'élève, etc.

Mais faut-il nécessairement et dans tous les cas, un ordinateur ? Là est le véritable problème.

Nous laisserons de côté toute vision futuriste où des périphériques installés dans les classes gèrent le savoir des élèves et donnent la radiographie des connaissances ac-

quises. Sous prétexte que l'utilisation du télétraitement permet de recevoir par téléimprimeur ou par consoles audio-visuelles la réponse à une question posée, l'ordinateur est-il prêt à fonctionner sur une grande échelle ?

Nous pensons que dans l'immédiat à « Sa Majesté l'ordinateur » sont réservées des fonctions plus spécifiques. Pour prendre une comparaison un peu triviale, nous nous trouvons dans le cas d'une personne de notre connaissance qui, ayant acheté une Ferrari et habitant Paris, a dû la doubler d'une 2 CV car son bolide chauffait trop dans les embouteillages.

Sur ce point, deux tendances s'affrontent. La première, plus anglo-saxonne, essaye de multiplier les possibilités des machines à choix multiple.

Dans ce cas la technologie prend le dessus et l'on se trouve devant le problème de l'utilisation de l'ordinateur, instrument coûteux, mais offrant d'immenses possibilités.

Sur le plan technologique, il n'y a certes aucune difficulté pour l'usage simultané de l'ordinateur par plusieurs interlocuteurs grâce à la technique, soit du système multipupitre avec programme moniteur, soit en utilisant les techniques récentes du « partage de temps ».

Sur le plan financier, l'heure d'utilisation de l'ordinateur est coûteuse. Pour assurer sa rentabilité dans des conditions économiques convenables, on peut concevoir, outre l'utilisation pour la diffusion de l'enseignement programmé, des utilisations variées : recherches, gestions, calculs scientifiques, documentation, etc.

Mais où l'on rencontre des difficultés plus grandes, c'est dans le domaine de la programmation. Le problème de l'évaluation de la réponse construite qui dépasse le groupe de quelques unités, exige une recherche spécifique qui n'a pas abouti.

Déjà des recherches opérationnelles ont été faites dans l'utilisation de l'ordinateur.

A Toulouse, au laboratoire d'informatique de la faculté, on utilise le calculateur pour les travaux pratiques de programmation sur ordinateur qui donneront lieu certainement à des extensions intéressantes. Il semble abusif de parler ici d'enseignement programmé, car il s'agit davantage de système adaptatif de contrôle séquentiel destiné à compléter une formation théorique.

A la Faculté des Sciences de Paris, des colles se font en utilisant un ordinateur capable de déterminer si la réponse sous des formes diverses est exacte ou erronée. En cas d'erreur, l'étudiant reçoit une information explicative. La combinaison de programmes principaux à des programmes annexes devrait permettre de combler des lacunes de l'étudiant à mesure qu'elles sont révélées par le contrôle.

Si l'on désire simplement une présentation des informations, un choix, une mise en mémoire de la progression de l'élève en vue d'une analyse ultérieure, des appareils moins coûteux peuvent rendre de grands services. Ceci correspond à la deuxième tendance.

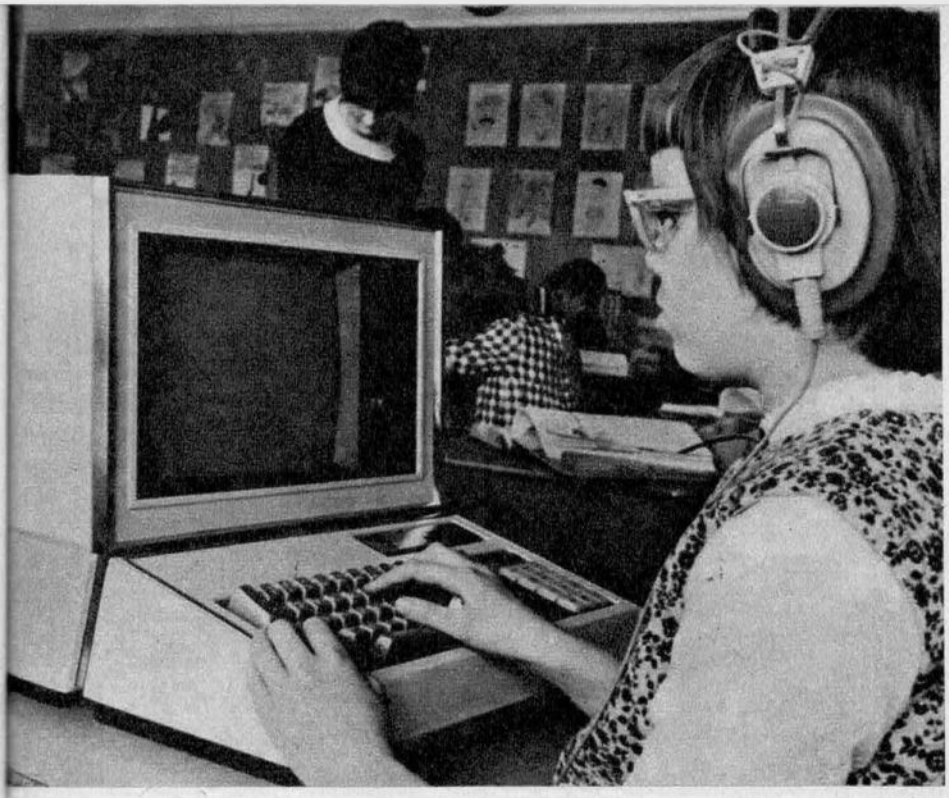
Nous pouvons citer comme exemple l'utilisation dans l'enseignement par correspondance, en particulier de l'électronique, d'une règle à apprendre, proche voisine de notre règle à calcul, et qui a des fonctions de mise en mémoire temporaire, de notation et de correction.

Il n'y a pas, au total, de rapport direct entre le coût d'un instrument et les services qu'il peut rendre. Dans une brochure publiée par l'Institut pédagogique national concernant l'enseignement programmé en URSS, les rapporteurs mentionnent : « Ils (les interlocuteurs russes) nous ont affirmé qu'à leur sens les plus simples (machines à enseigner) convenaient si on les exploitait convenablement... A ce propos, on nous a dit et fait dire à plusieurs reprises que, pour l'heure au moins, les calculateurs employés dans l'enseignement devaient être des instruments de recherches. »

Ainsi dans cette deuxième tendance, on considère l'ordinateur non plus comme un « multiplicateur » de techniques pédagogiques programmées mais davantage comme un « affineur » de ces techniques. L'accent est mis sur le caractère qualitatif et non quantitatif. On essaye d'englober l'enseignement programmé et les machines à enseigner dans les techniques pédagogiques comme des composantes d'un ensemble de moyens d'action.

L'aspect contrôle est mis en relief avec le souci d'une rétroaction sur la qualité des cours en vue d'une amélioration éventuelle.

On est porté davantage à l'évaluation des « entrées » et des « sorties » du système qu'aux moyens eux-mêmes. Cette façon de



Une unité d'enseignement individuel programmé par ordinateur développé par R.C.A., aux États-Unis. La leçon et les questions de contrôle apparaissent sur l'écran de visualisation. L'élève utilise le clavier pour ses réponses.

voir est davantage cybernétique ; on cherche un ajustement des moyens aux fonctions en vue d'une finalité.

Dans les expériences américaines, l'enseignement programmé constitue sa propre finalité. Aux U.S.A., l'utilisation de l'ordinateur se place dans un contexte de haut niveau de consommation où cet outil s'introduit dans la vie quotidienne avec les phénonènes d'accoutumance que cela comporte. Lors d'un récent congrès international, la directrice d'un institut soviétique de recherches médicales nous confiait que son fils avait davantage peur des machines à enseigner que de son professeur. Aux Etats-Unis, au contraire, le super-gadget électronique n'étonne plus.

Malgré cela, si l'efficacité de l'enseignement programmé n'est pas douteuse pour eux, les promoteurs américains savent qu'ils ont des obstacles à surmonter. Nous n'en voulons pour preuve que le budget de deux millions et demi de dollars affecté par l'US Office of Education à la formation de 2 200 enseignants.

En France, les deux tendances se retrouvent. Cependant, pour l'enseignement, certains pensent davantage à l'utilisation de la recherche opérationnelle, qui peut permettre une analyse plus fine des systèmes vivants sur lesquels s'applique l'enseignement. Les possibilités immenses de l'ordinateur ouvrent l'ère de la « modélisation » de situations pédagogiques concrètes, incluant ou non l'ordinateur, en vue de mieux saisir leur complexité structurelle et fonctionnelle et l'ère de l'utilisation de la « simulation » comme moyen pédagogique.

L'idée d'introduire, non pas des programmes d'apprentissage (forme moderne du livre du maître), mais des programmes-pilote réglant la progression de l'élève dans l'acquisition des connaissances fournies par d'autres moyens (contact direct avec le professeur, discussion de groupe, livre, moyens audio-visuels...) doit permettre le développement d'une programmation fonctionnelle.

Dans ces conditions, des périphériques adaptés permettraient d'utiliser les ordinateurs qui, déjà en place et servant à d'autres fins, fonctionneraient comme « surgénérateurs d'enseignement ». L'amélioration de l'utilisation pratique de l'ordinateur à des fins de contrôle et d'auto-instruction peut débarrasser l'enseignement de tâches parapédagogiques au profit de la recherche pédagogique fondamentale.

L'entrée libre au laboratoire d'auto-instruction permettra à celui qui veut vérifier ses connaissances de le faire. De même, il sera possible de s'entraîner librement, de se recycler avec cette technique de « *computer assisted instruction* ».

Informatique et enseignement entraînent dans leur sillage la naissance d'une « ingéniérie pédagogique », de « laboratoires technico-pédagogiques » où travaillent et travailleront des équipes inter-disciplinaires. Elles seront chargées de mieux forger les outils adaptés à l'action d'éduquer qui conditionne en définitive notre avenir.

P. J. DUBOST

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les ordinateurs font maintenant un grand nombre d'opérations qui étaient auparavant exécutées par l'homme. Par exemple, beaucoup d'entreprises établissent les bulletins de paye de leur personnel à l'aide d'ordinateurs, alors qu'auparavant ils étaient calculés par des comptables. Dans des activités de cette nature, on connaît une méthode indiquant la succession des calculs qui mènera sûrement au résultat. Il suffit alors de programmer cette méthode et l'ordinateur fera exactement ce que faisait l'homme auparavant, mais beaucoup plus vite et avec moins d'erreurs.

A côté des précédentes, il existe un certain nombre d'activités où nous ne connaissons pas la méthode que nous utilisons. Prenons le simple problème de la reconnaissance d'un caractère imprimé, par exemple de la lettre A. On ne connaît pas une définition de la lettre A qui rende compte de toutes les formes qu'un homme reconnaît comme étant la lettre A. Il y a une très grande variété de types de caractères d'imprimerie ; il peut y avoir des défauts : taches, interruptions du tracé, qui ne nous empêcheront pas de reconnaître la lettre sans difficulté, même si nous en voyons une nouvelle variante pour la première fois. Dans ce cas, nous ne connaissons pas la méthode de reconnaissance que nous employons.

Le but de l'intelligence artificielle est d'étendre le champ d'application des ordinateurs à tous ces domaines où nous réussissons plus ou moins bien, sans savoir comment nous nous y prenons. A partir du moment où l'on connaît la méthode que nous utilisons, comme dans le cas de l'établissement des bulletins de paye, il n'y a plus qu'un problème de programmation et nous n'incluons pas ces applications dans l'intelligence artificielle.

TOUT EST-IL MÉCANISABLE ?

Il se pose alors un problème de nature philosophique. Utilisons-nous dans toutes nos activités uniquement des méthodes bien précises (quoique certaines restent inconnues), ou bien existe-t-il des activités qui ne sont pas mécanisables ?

Dans la première hypothèse, on pourra écrire un jour un programme capable de faire tout ce que nous faisons. Rappelons à ce propos qu'à toute méthode bien définie on peut faire correspondre un programme (des recettes de cuisine ou de tricot sont des programmes). L'intelligence réside dans le programme, non dans l'ordinateur qui ne fait qu'exécuter bêtement le programme.

Un calculateur adaptatif, le Multivac, réalisé par Hughes aux Etats-Unis, capable d'améliorer ses performances en modifiant sa structure interne pour le traitement de certains problèmes d'intelligence artificielle, tels que la reconnaissance et l'interprétation des formes sur images radar et télévision.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Il est impossible, dans l'état actuel de nos connaissances, de trancher ; il y a des arguments en faveur de chacune des thèses, et aucun d'eux n'est décisif. Il semble toutefois certain que beaucoup de nos actes sont dûs à des mécanismes. Le mieux est d'essayer de réaliser des modèles rendant compte de toutes nos activités, et peut-être un jour verrons-nous qu'une certaine activité n'est pas mécanisable. Beaucoup posent actuellement que presque rien n'est mécanisable. En général, ceux qui le disent se gardent bien d'en donner la moindre preuve. Cela aboutit à ne rien faire. En réalité, on ne peut rien rejeter à priori, et on n'a pas le droit de dire actuellement que jamais une machine n'arrivera à faire tout ce que nous faisons, même s'il s'agit d'écrire des poèmes de qualité.

IMITATION DE L'HOMME OU PERFORMANCE

Il existe deux familles de chercheurs. La première poursuit un but psychologique : on veut essayer de trouver les mécanismes que nous utilisons, c'est-à-dire découvrir une partie de notre programme ; on fait donc de la simulation de l'intelligence. La deuxième famille cherche à établir des programmes ayant des performances aussi bonnes que possible. On ne s'impose plus de copier nos méthodes, on cherche la meilleure méthode possible. A priori, il n'y a aucune raison pour que notre cerveau utilise, pour faire des mathématiques par exemple, la méthode la meilleure. Il est même certain que la plupart des individus utilisent de très mauvaises méthodes, car peu de gens sont doués pour les mathématiques. Mais même les plus grands savants n'utilisent peut-être pas les méthodes les plus efficaces. Ils ne seraient alors que des borgnes au milieu d'aveugles. Pourquoi essayerait-on de copier la méthode des borgnes ? Autant réaliser un programme qui ait deux yeux.

Quant on veut juger une réalisation, il faut bien voir ce que l'auteur a voulu faire. Dans le premier cas, on regarde si la façon d'opérer du programme semble proche de celle d'un homme, en examinant les résultats intermédiaires ; même les maladresses doivent s'y retrouver. Par contre, dans le deuxième cas, il faut regarder uniquement les performances.

Bien sûr, les deux approches sont liées. Si on a un programme très « performant », il est naturel de se demander si nous n'utilisons pas certains de ses mécanismes. Si, de l'autre côté, on veut réaliser un programme performant, il est utile d'essayer de voir comment nous opérons, quitte à éliminer des méthodes qui sont manifestement inefficaces.

L'intelligence artificielle est apparue avec les ordinateurs. Il faut pourtant remarquer que, théoriquement, elle aurait pu apparaître bien avant. Au dix-huitième siècle, on avait déjà proposé une méthode mécanique pour composer des menuets. A partir du moment où le programme est défini, on peut l'exécuter sur un ordinateur, mais on peut très bien exécuter soi-même la succession des ordres, en se passant d'ordinateur : c'est la « simulation à la main » du programme.

LE JEU DE « TIC-TAC-TOE »

Donnons un exemple de programme d'intelligence artificielle pour mieux faire comprendre cela : supposons que nous voulions réaliser un mécanisme capable de jouer au jeu appelé *tic-tac-toe*.

Décrivons d'abord les règles du tic-tac-toe. Il se joue sur un échiquier de trois cases sur trois cases. Chaque joueur a trois pions. Dans une première phase, chaque joueur pose à tour de rôle un de ses pions. Supposons que cette phase soit terminée et intéressons-nous à la deuxième phase où chaque joueur déplace à tour de rôle un de ses pions dans une case vide reliée par une flèche, comme sur la figure en haut de la page ci-contre, à la case d'origine.

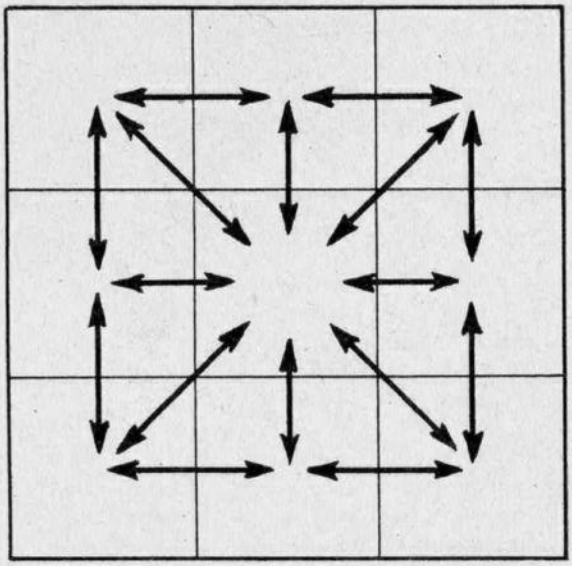
Le joueur qui a gagné est le premier qui a réussi à aligner ses trois pions selon une diagonale, une horizontale ou une verticale.

Indiquons quel est notre programme pour jouer à ce jeu :

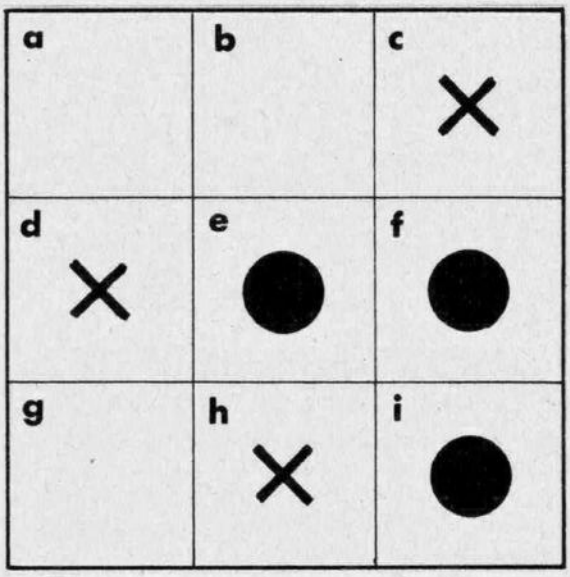
— On regarde d'abord s'il y a un coup gagnant (sur une ligne où l'on a déjà deux pions, la troisième case est vide et le troisième pion est situé dans une case d'où il peut passer à la case libre). S'il y en a un, on le joue.

— On énumère ensuite tous les coups que l'on peut jouer. Pour chacun de ceux-ci, on regarde si l'adversaire peut gagner après que l'on a joué ce coup. S'il en est ainsi, on élimine le coup.

— On reprend tous les coups qui restent



L'échiquier du jeu de tic-tac-toe et les règles de mouvement des pièces.



La position des pièces au départ du jeu analysé dans le texte.

après l'élimination précédente. On les considère les uns après les autres et, pour chacun, on regarde combien l'adversaire pourra jouer de coups ensuite.

— On choisit alors celui des coups après lequel l'adversaire peut jouer le moins de coups. S'il y en a plusieurs après lesquels l'adversaire peut jouer ce nombre de coups minimum, on joue le premier envisagé, pour éviter de se trouver dans le cas de l'âne de Buridan qui ne peut se décider entre deux situations équivalentes.

Montrons sur un exemple à quoi cela correspond. Supposons que la situation sur l'échiquier soit celle représentée ci-contre et que ce soit aux croix de jouer. Suivons notre programme.

On constate qu'il n'y a pas de coup immédiatement gagnant pour soi. Donc on énumère les coups possibles. Ce sont :

1. pion dans la case c va en b ;
2. pion dans la case h va en g ;
3. pion dans la case d va en a ;
4. pion dans la case d va en g.

Voyons si, après un de ceux-ci, l'adversaire a un coup gagnant. Après le coup 1, qui libère la case c, l'adversaire peut jouer le coup :

pion dans la case e va en c,

et il gagnerait puisqu'il aurait trois pions alignés sur la verticale de droite. On vérifie qu'aucun des autres coups ne donne à l'adversaire une possibilité de gain immédiat. On élimine donc le coup 1.

Après chacun des autres coups, regardons le nombre de coups que l'adversaire peut jouer.

Après le coup 2, il peut jouer 4 coups :

e va en b
e va en a
e va en h
i va en h

Après le coup 3, il peut jouer 3 coups :

e va en b
e va en d
e va en g

Après le coup 4, il peut jouer 3 coups :

e va en b
e va en a
e va en d

Le coup 2 est donc éliminé, les deux autres coups sont équivalents, mais, d'après la dernière règle, on choisit le premier engendré, donc on jouera 3 :

pion dans la case d va en a.

Tout ceci a été fait de façon entièrement mécanique, et on aurait très facilement pu programmer un ordinateur qui serait arrivé au même résultat que nous, mais bien plus vite.

Remarquons que ce programme, extrêmement rudimentaire, donne un jeu qui n'est pas ridicule. Dans le cas présent, l'adversaire va être obligé d'abandonner la case du centre qui est très avantageuse, et nous pourrons ensuite l'occuper. Les programmes réels d'intelligence artificielle sont plus complexes que celui-ci qui n'est donné qu'à titre d'exemple. Mais on peut très bien jouer mécaniquement une partie de tic-tac-toe à l'aide de ce programme. On risque, vu sa simplicité, de perdre assez souvent !

L'INTÉRÊT DE L'ORDINATEUR

Après avoir dit que l'ordinateur n'est pas indispensable théoriquement pour l'intelligence artificielle, nous allons voir qu'il est indispensable en pratique pour trois raisons.

La première tient à sa rapidité. L'expérience montre qu'en général les programmes efficaces nécessitent l'exécution d'un grand nombre d'ordres élémentaires qui demanderaient beaucoup trop de temps à un homme. L'ordinateur va des millions de fois plus vite.

La deuxième est le faible taux d'erreur de l'ordinateur. Nous nous trompons très souvent, plus ou moins selon notre habileté, mais même si nous ne nous trompions qu'une seule fois en moyenne toutes les 10 000 opérations (ce qui serait remarquable), nous nous serions trompés 1 000 fois si l'exécution d'un programme demandait l'exécution de dix millions d'opérations. Par contre, si l'ordinateur se trompe en moyenne une fois tous les milliards d'opérations (ce qui n'est pas très bon pour lui), il n'y a qu'une chance sur cent pour qu'il fasse une erreur dans la même exécution.

La troisième est qu'il nous est impossible d'être honnêtes quand nous exécutons nous-mêmes un programme. Nous sommes trop indisciplinés et trop paresseux. Il faut une volonté de fer pour exécuter un grand nombre de fois une « boucle » alors que l'on a l'impression que cela ne servira à rien. Si nous avons une mauvaise impression, cela conduira à des résultats différents de ce qu'aurait donné un passage sur machine, soit qu'un bon résultat nous échappe, soit que nous ne voyions pas un défaut de notre programme.

DES ACTIVITÉS PROGRAMMÉES SANS ORDINATEUR

L'ordinateur est donc en général indispensable pour des raisons pratiques, pour les mêmes raisons qui le rendent indispensable pour la paye d'une grosse société ou pour calculer la solution d'une équation complexe. Mais il est intéressant, avant d'écrire un programme pour un ordinateur, d'essayer de voir à la main ce que cela va donner dans des cas simples.

Il reste de plus certains cas où l'on peut se passer de machine et où l'on s'impose de suivre un programme : les professeurs essayent souvent, en nous donnant une méthode de travail, de nous fournir un programme dont certaines parties sont imprécises et que nous complétons. Ils nous demandent d'exécuter ce programme. Par exemple, ils nous disent que pour faire une version latine, il faut d'abord lire le texte pour voir de quoi il s'agit, puis prendre la première phrase, et en établir la construction. Pour cela, chercher le verbe de la principale, puis le sujet, les compléments, décomposer de la même façon les subordonnées et ensuite seulement ouvrir son dictionnaire. On a là une ébauche très vague de programme. L'expérience montre du reste que la quasi-totalité des élèves ne savent s'obliger à le suivre et se précipitent sur leur dictionnaire dès qu'on leur donne un texte à traduire. Mais ces professeurs font de l'intelligence artificielle sans le savoir.

ACTIVITÉS DÉTERMINÉES MAIS IMPRÉVISIBLES

A la lueur de ce que nous venons de voir, reprenons une objection que l'on fait souvent : « la machine ne peut faire que ce qu'on lui dit de faire ». Cela est parfaitement exact. Le problème est justement d'arriver à lui dire de se comporter de façon intelligente. L'intelligence est dans le programme, non dans la machine qui n'est qu'un exécutant.

La machine a un fonctionnement déterminé et, intuitivement, beaucoup ne croient pas que nous soyons nous-mêmes déterminés. En réalité, nous n'en savons rien. Il semble pourtant certain que beaucoup de

nos actes sont dûs à des mécanismes, malheureusement inconnus. La complexité de notre comportement nous fait croire à son indétermination. En réalité, il est seulement *imprédictible*. Actuellement les programmes d'intelligence artificielle sont déterminés et imprédictibles. Ils sont tellement complexes que l'on ne peut savoir à l'avance quel sera leur comportement, quels résultats ils donneront. On a déjà vu des programmes de jeux qui battaient leur programmeur et j'ai fait l'expérience d'un programme de démonstration de théorèmes qui réussissait à démontrer un théorème que je n'avais pu démontrer moi-même.

Par ailleurs, l'importance de l'inconscient nous fait croire au non déterminisme de notre fonctionnement. Mais un acte inconscient peut être déterminé. On n'a alors aucun moyen pour connaître les mécanismes qui l'ont produit. Ce que l'on appelle intuition ne couvre-t-il pas un ensemble de mécanismes inconscients ?

Ceux qui ont étudié l'invention ont toujours insisté sur l'importance du hasard. Mais ce hasard ne vient pas de nous, il vient du monde extérieur et le chercheur doit savoir l'utiliser. Quand un chat renverse plusieurs éprouvettes et qu'il en résulte un produit aux propriétés intéressantes, on ne voit pas pourquoi il faut faire appel au hasard pour expliquer ce qui va se passer dans la tête du chercheur qui exploitera cet incident heureux.

Si l'on dit « le programme n'a pas été fait par la machine, il faut toujours des hommes pour le faire », ne faut-il pas remarquer que nous-même, n'avons pas créé notre propre programme, que nous l'avons reçu à notre naissance. Il s'agit, bien entendu, d'un programme extrêmement complexe, qui a d'énormes possibilités d'apprentissage, mais il n'est que le fruit de l'évolution. On n'a jamais reproché à un homme de ne pas être intelligent parce que il n'a pas créé son programme inné.

Enfin, il est essentiel pour juger des performances d'un programme de tenir compte des connaissances dont il dispose. On confond trop souvent bêtise et ignorance. Nous ne nous rendons pas compte de la masse de connaissances que nous utilisons, souvent inconsciemment, et que nous avons acquises il y a si longtemps que nous ne nous le rappelons plus.

TRADUCTION ET LECTURE PAR LA MACHINE

A priori, l'intelligence artificielle s'intéresse à toute activité humaine. Pratiquement tous les essais réalisés rentrent dans trois catégories :

— Les applications linguistiques. Par exemple, écrire un programme qui puisse répondre à des questions posées dans une langue naturelle comme le français, l'anglais... La traduction automatique est une autre application de ce type. Elle a pour but d'obtenir des programmes qui recevraient un texte écrit dans une certaine langue, par exemple le russe, et en donneraient la traduction dans une autre langue, par exemple le français.

Actuellement ces recherches marquent le pas, car on s'est aperçu que les premières méthodes essayées ne pouvaient donner une traduction satisfaisante. Des recherches indispensables n'avaient pas été faites en linguistique et, d'autre part, on ne sait pas encore tenir compte de ce que l'on appelle le contexte. Son utilisation semble indispensable si l'on veut une traduction correcte.

Aussi les chercheurs s'attaquent maintenant aux problèmes fondamentaux que les premières recherches ont permis de cerner.

— Les applications du type perceptif. Nos organes sensoriels reçoivent des signaux du monde extérieur ; par exemple, la rétine reçoit une image lumineuse. Mais après la sensation, excitation d'un organe sensoriel, le cerveau fait un travail très important, appelé perception, pour analyser la figure reçue. Nous faisons ce travail très rapidement et inconsciemment, aussi nous le sous-estimons. Nous avons déjà vu un exemple simple, celui de la reconnaissance d'une lettre : même si nous n'avons jamais vu l'exemplaire proposé, qu'il y ait une déformation particulière (tache, interruption du tracé) ou une nouvelle forme de caractère d'imprimerie, nous le reconnaîtrons instantanément.

On voudrait réaliser de tels mécanismes capables d'opérations de reconnaissance. Mais nous ne savons pas comment nous opérons. Une autre difficulté vient de ce que, si les cellules de notre cerveau travaillent lentement comparativement à une machine, il y en a des millions qui travaillent en même temps, alors que, dans les ordinateurs

actuels, il y a un seul organe de traitement qui travaille. De telle sorte que les ordinateurs mettent souvent un temps comparable à celui qu'il nous faut pour reconnaître une lettre. Ce n'est pas rentable. Il faudra sans doute réaliser des machines ayant beaucoup d'éléments logiques travaillant en même temps, s'inspirant du fonctionnement de notre cerveau.

Actuellement, on a réalisé des machines qui lisent certains types de caractères d'imprimerie. Bien que beaucoup moins performantes que nous, ces machines ont un intérêt, car elles peuvent décharger les opératrices qui doivent fournir l'information à l'ordinateur en perforant des cartes ou des bandes.

En dehors de la lecture optique, d'autres essais ont été faits pour la reconnaissance de la parole, le dépouillement automatique de photographies, la lecture de l'écriture manuscrite, mais ce sont des problèmes encore bien plus complexes.

Signalons à ce propos que la lecture des caractères magnétiques, que l'on voit sur beaucoup de chèques bancaires, n'a rien à voir avec ce genre de recherches. La reconnaissance se fait d'une façon analogue à la lecture d'une bande magnétique.

RÉSOLUTION DE PROBLÈMES

LA MÉTHODE COMBINATOIRE

Abordons maintenant le troisième domaine, celui de la résolution de problèmes.

Un problème est défini par un but (ce peut être un théorème à démontrer si on fait des mathématiques, ou prendre le roi de l'adversaire si l'on joue aux échecs) et *par des moyens*, les théorèmes déjà connus et les transformations que l'on a le droit de leur faire subir pour en déduire de nouveaux théorèmes en mathématiques, ou les coups que l'on a droit de jouer aux échecs. On veut atteindre le but en utilisant les moyens permis.

La première idée qui vient à l'esprit est d'essayer tous les moyens permis sur la situation de départ ; on obtient alors de nouvelles situations sur lesquelles on essaye à nouveau tous les moyens permis jusqu'à avoir le but recherché. Cette approche, appelée *combinatoire*, mène sûrement à la solution, s'il en existe une.

Malheureusement cela peut demander beaucoup trop de temps. Aux échecs, cela revient à considérer tous ses coups, puis pour chacun de ceux-ci, tous ceux de l'adversaire... jusqu'à arriver à une position gagnante quelles que soient les ripostes adverses. On a calculé qu'une machine mille fois plus rapide que la plus rapide des machines actuelles, qui aurait commencé ce travail au moment de la création de la terre et qui aurait une mémoire illimitée serait loin d'avoir fini !

Il en est de même pour la plupart des problèmes pratiques. Pour quelques-uns, ce procédé est cependant utilisable. Par exemple, on peut, à l'aide d'un ordinateur, déterminer tous les cas où l'on peut placer huit dames sur un échiquier sans qu'elles se prennent. Mais de tels problèmes sont rares. On est donc contraint de chercher autre chose.

Une deuxième idée est d'étudier l'énoncé du problème et essayer d'en déduire une méthode qui permette de le résoudre à coup sûr. Par exemple, pour le jeu de Nim présenté dans le chapitre sur le temps partagé, il existe une méthode qui permet au joueur qui commence de gagner à coup sûr. Si on est arrivé à trouver une telle méthode, il faut l'employer. Mais il y a des limites : cette méthode peut demander beaucoup trop de temps à l'ordinateur ; de plus, il se peut, soit qu'on ne soit pas parvenu à trouver de méthode, soit même qu'il n'en existe pas. Aux échecs, par exemple, on ne connaît pas de méthode qui permette au premier joueur de gagner à coup sûr.

Il faut donc trouver autre chose. Nous n'utilisons, d'ailleurs, en général aucune des approches précédentes et nous arrivons quand même parfois à résoudre des problèmes. Une troisième idée est de s'inspirer de la façon dont nous opérons : c'est l'utilisation des « heuristiques ».

LA MÉTHODE HEURISTIQUE

Une « heuristique » est une méthode de recherche qui indique, parmi les essais possibles, ceux qui ont le plus de chance et ceux qui ont le moins de chance de nous approcher du résultat. Elle aide à choisir parmi les possibilités ; c'est une amélioration par rapport à la méthode combinatoire où l'on examine tout.

Mais on n'est pas sûr que l'heuristique a toujours raison. Elle peut très bien, dans

certains cas, amener à faire un essai infructueux et, dans d'autres, écarter le chemin qui mène à la solution. Elle sera bonne si cela se produit rarement. C'est un raccourci, et l'on sait bien que, si dans certains cas on gagne du temps en prenant un raccourci, on se perd parfois.

Edgar Poe dans « Le joueur d'échecs de Maelzel » des *Nouvelles Histoires Extraordinaires* critiquait une machine à jouer aux échecs présentée en public. Il avait raison et il est probable qu'un nain y était caché. Mais parmi ses arguments, il disait : « Elle ne gagne pas toujours; si c'était vraiment une machine, elle devrait toujours gagner ». Cet argument était mauvais. Une machine qui utilise des heuristiques peut très bien perdre une partie. Si elle perd souvent, ses heuristiques sont mauvaises (ou l'adversaire très fort). Si elle perd rarement, ses heuristiques sont bonnes.

Donnons des exemples d'heuristiques, nous les utilisons constamment sans nous en rendre compte.

Si nous jouons au bridge, on nous a donné au début tout une série de « règles » qui ne sont que des heuristiques :

— Jouer dans la forte du mort si on est placé avant le mort.

— Honneur sur honneur.

— Cent mille Anglais se sont noyés dans la Tamise pour ne pas avoir joué atout assez tôt.

Toutes ces heuristiques nous indiquent quelle couleur jouer, et même parfois quelle carte mettre. Cela limite beaucoup les possibilités que l'on a à envisager.

Voyons le cas des échecs :

— On affecte des valeurs aux pièces : pion, 1 ; cavalier, 3 ; dame, 9 ;... pour comparer l'intérêt des diverses prises.

— Si on a une colonne ouverte, on essaye d'y mettre une tour.

— On essaye de contrôler le centre de l'échiquier.

— On évite d'avoir des pions isolés et des pions doublés.

Toutes ces règles heuristiques nous guident pour le choix du meilleur coup.

Même dans la nature, on utilise les heuristiques. Prenons le cas de certains papillons de nuit. Ces insectes ont un grand ennemi, la chauve-souris, qui localise ses proies à l'aide d'ultrasons. Aussi le papillon a deux détecteurs d'ultrasons. Quand il reçoit une émission, deux cas sont possibles. Si leur intensité est faible, la chauve-souris est loin. Le papillon s'éloigne dans la direction opposée à la chauve-souris, direction qu'il connaît puisqu'il a deux détecteurs. Si l'intensité est forte, l'ennemi est proche et le papillon plonge en catastrophe vers le sol où il reste tapi (s'il y arrive !). Dans les deux cas, le comportement est heuristique. Dans certaines situations, ce n'est pas la meilleure méthode pour échapper, mais en général cette méthode est bonne, et la preuve en est que cette espèce de papillons existe toujours.

Nous utilisons aussi des heuristiques dans la vie de tous les jours : qui n'a jamais donné un coup de poing à un poste de radio qui se mettait à ronfler ? Parfois cela réussit !

Dans le programme de tic-tac-toe donné au début, l'heuristique est d'essayer de diminuer la mobilité de l'adversaire, c'est-à-dire le nombre de coups qu'il peut jouer ; c'est une heuristique utile dans beaucoup de jeux. Aux échecs, la dame est supérieure à la tour, parce qu'elle est à l'origine d'un plus grand nombre de coups.

Dans certains cas, il y a contradiction entre les heuristiques grossières du débutant et celles, beaucoup plus fines, de celui qui sait bien résoudre le problème. Au bridge, par exemple, les débutants suivent scrupuleusement les heuristiques données plus haut, et ils sont étonnés de voir que parfois les bons joueurs gagnent sans les suivre. En réalité ces derniers savent que, dans certaines situations, on peut avoir intérêt à ne pas jouer honneur sur honneur. Ils améliorent cette heuristique en sachant reconnaître les cas où elle ne s'applique pas. Un autre exemple est celui du sacrifice aux échecs. Le débutant est étonné de voir un bon joueur se faire prendre sa dame et en retirer un bénéfice seulement plusieurs coups après. Le débutant a une heuristique très grossière : ne jamais perdre de pièce sans contrepartie immédiate. Le bon joueur, lui, connaît l'importance de la « position » et il n'hésite pas à sacrifier une pièce pour améliorer sa position. Il sait que, tôt ou tard, il rattrapera largement ce qu'il a perdu. Pour le débutant qui ne sait pas l'importance de la position, cela paraît inexplicable.

Donnons des exemples de résultats obtenus par des programmes utilisant des heuristiques.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

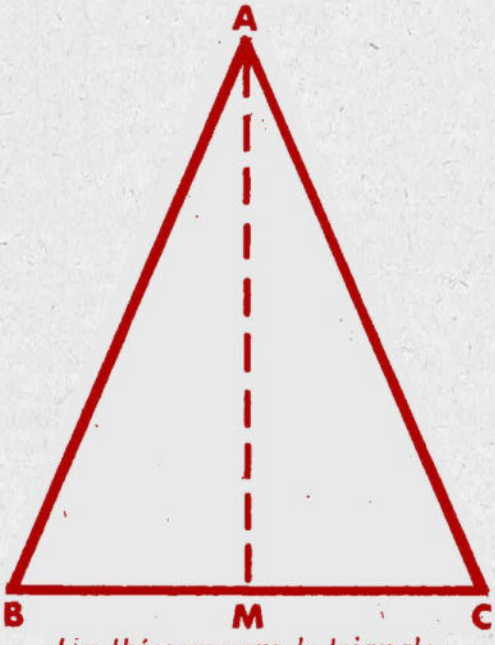
Les spécialistes américains Minsky et Gelernter ont étudié un programme de démonstration de théorèmes de géométrie élémentaire, telle qu'on l'enseigne dans le secondaire. Un des premiers essais a été le suivant :

Soit un triangle ABC isocèle (AB = AC). Montrer que l'angle en B est égal à l'angle en C. Dans la démonstration classique, qu'ils pensaient obtenir, on trace la médiane AM. Les triangles AMB et AMC sont égaux comme ayant trois côtés égaux : AM commun, MB = MC puisque AM est la médiane ; AB = AC par hypothèse. Donc l'angle en B est égal à l'angle en C.

La démonstration obtenue par le programme a été toute autre : les triangles ABC et ACB sont égaux comme ayant trois côtés égaux :

côtés de ABC		côtés de ACB
BC	=	BC commun
AB	=	AC par hypothèse
AC	=	AB par hypothèse

Donc les angles correspondants sont égaux et l'angle en B est égal à l'angle en C. Les auteurs du programme ne connaissaient pas cette démonstration (qui était toutefois déjà connue des géomètres).



Un théoreme sur le triangle isocèle démontré par machine: égalité des angles à la base.

LE JEU DE « MORPION »

Donnons maintenant l'exemple d'une partie du jeu appelé « morpion », bien connu des écoliers, que j'ai jouée contre un programme. Dans ce jeu, chaque joueur ajoute une pièce à tour de rôle sur un échiquier de 19 cases sur 19 cases et le premier qui a aligné cinq de ses pièces sur une horizontale, une verticale ou une diagonale a gagné. Un coup est indiqué par l'abscisse, puis l'ordonnée de la case où l'on ajoute une pièce.

Mes coups	Coups du programme
10 — 10	9 — 9
11 — 9	9 — 11
11 — 10	9 — 10
9 — 12	10 — 11
8 — 11	11 — 12
8 — 9	9 — 8
9 — 7	10 — 8
11 — 7	11 — 8
12 — 8	8 — 8
7 — 8	10 — 7
7 — 10	10 — 13

(Ce coup menace un coup en 13 — 10)

6 — 9	5 — 8
5 — 10	8 — 7
6 — 10	4 — 10
6 — 11	6 — 12
4 — 9	7 — 11

(Ce coup est très bon. En jouant 7 — 12 ou 3 — 8, l'ordinateur perdrait par 7 — 9, riposte obligée 5 — 9, et alors 7 — 7 et gain de l'adversaire)

8 — 10	8 — 13

(Coup très maladroit. Il fallait jouer 7 — 12)

3 — 8 Et la machine perd.

La maladresse est due à ce que le programme n'était pas complet quand la partie a été jouée. Il comporte maintenant un dispositif qui élimine ces maladresses.

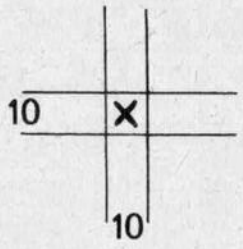
Ce programme est capable par ailleurs de jouer à d'autres jeux, par exemple au tic-tac-toe ou aux échecs. On pourrait faire facilement un programme qui ne jouerait qu'au « morpion » et qui serait bien plus performant.

RECHERCHES D'HEURISTIQUES

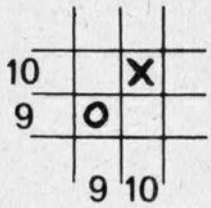
Nous avons vu comment un programme peut utiliser des heuristiques. Mais il reste à voir comment on peut trouver ces heuristiques.

Dans la nature, il y a plusieurs solutions.

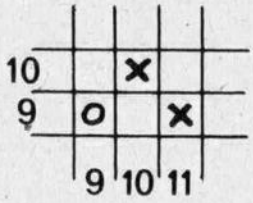
suite page 144



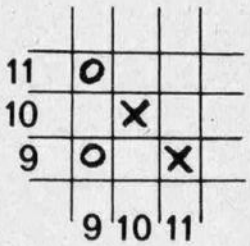
Joueur : 10-10



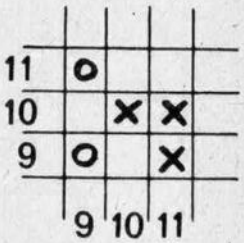
Machine : 9-9



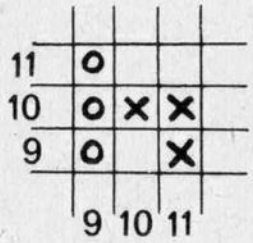
Joueur : 11-9



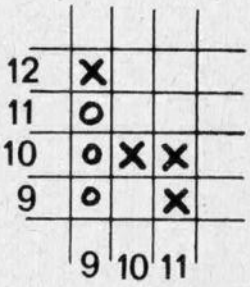
Machine : 9-11



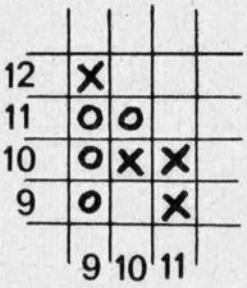
Joueur : 11-10



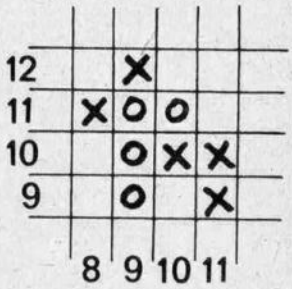
Machine : 9-10



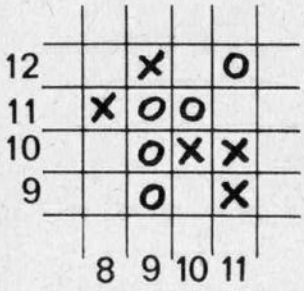
Joueur : 9-12



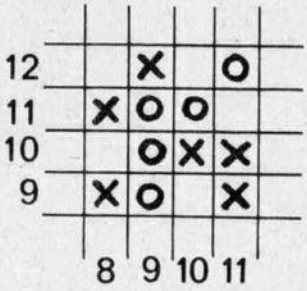
Machine : 10-11



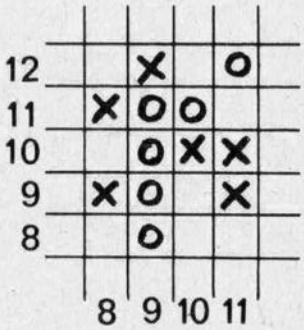
Joueur : 8-11



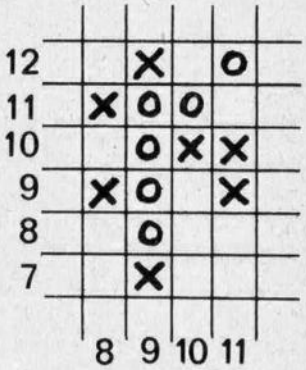
Machine : 11-12



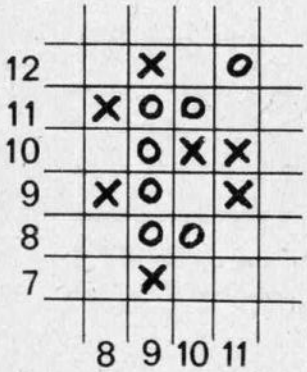
Joueur : 8-9



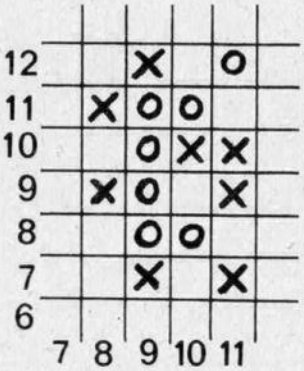
Machine : 9-8



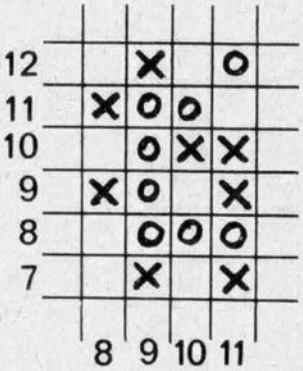
Joueur : 9-7



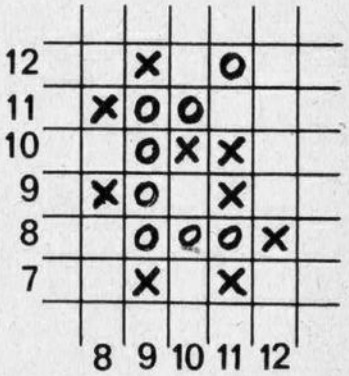
Machine : 10-8



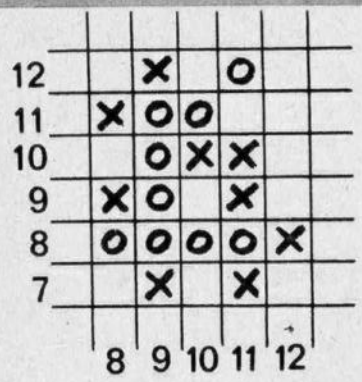
Joueur : 11-7



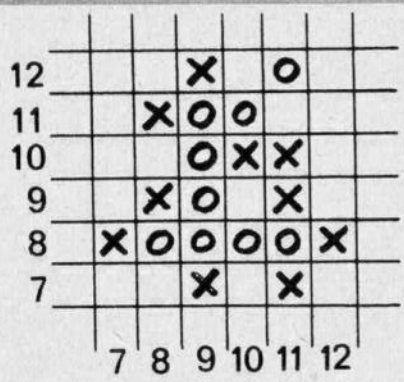
Machine : 11-8



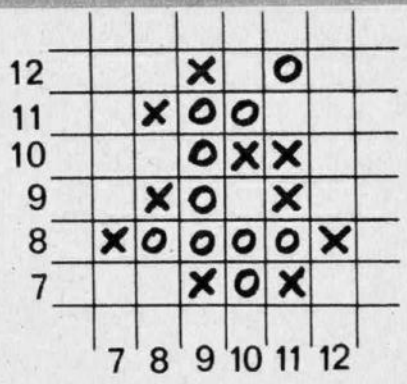
Joueur : 12-8



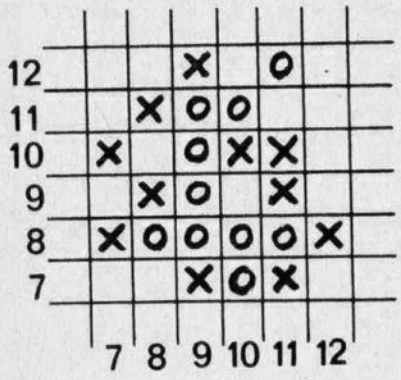
Machine : 8-8



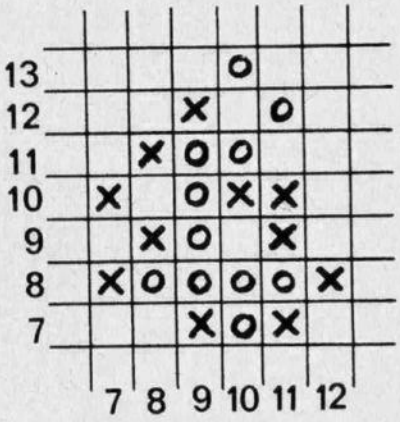
Joueur : 7-8



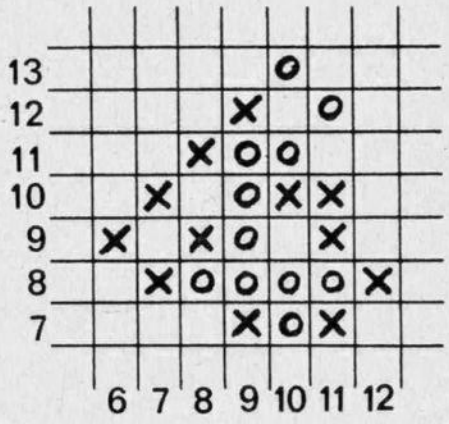
Machine : 10-7



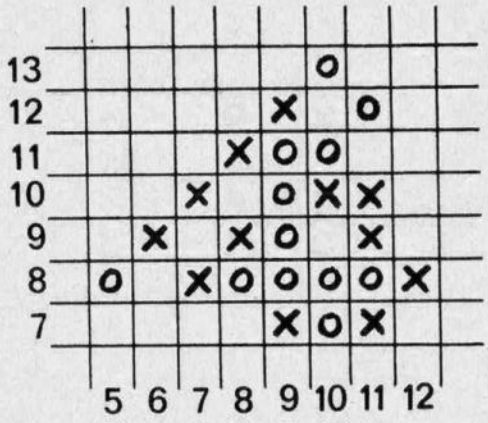
Joueur : 7-10



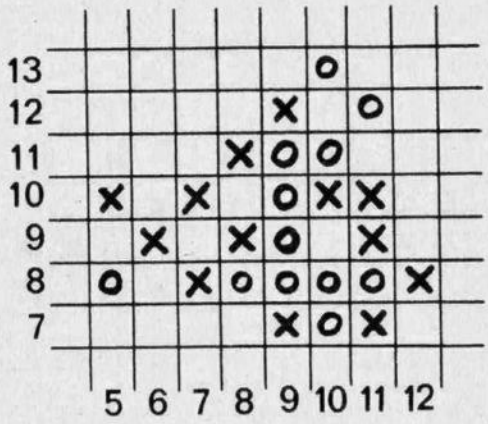
Machine : 10-13



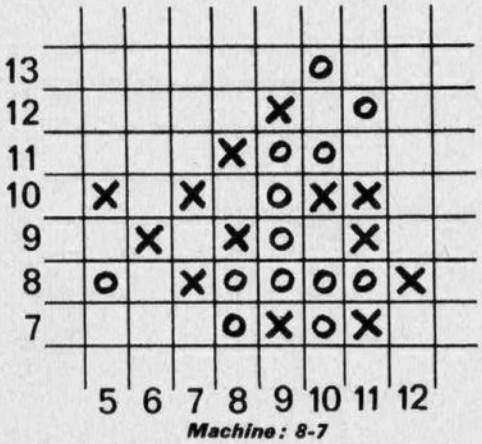
Joueur : 6-9



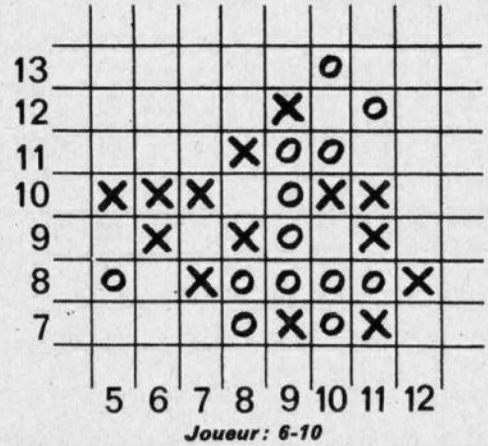
Machine : 5-8



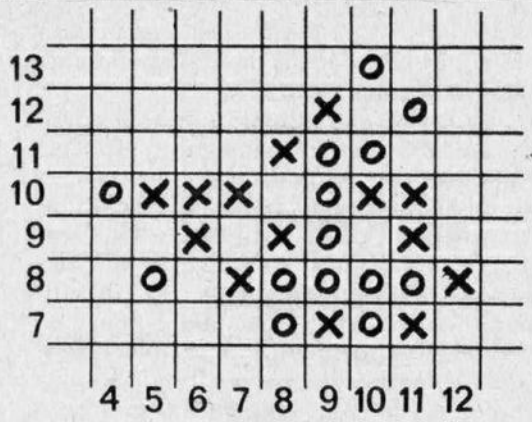
Joueur : 5-10



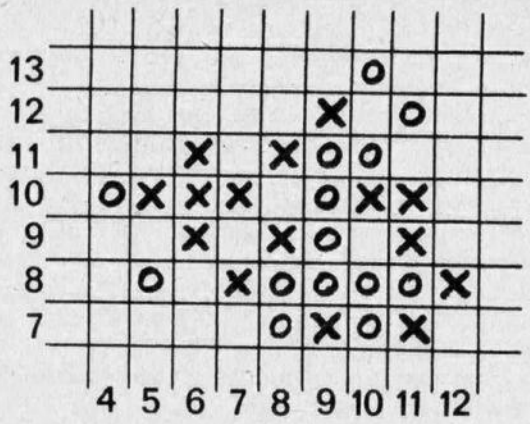
Machine : 8-7



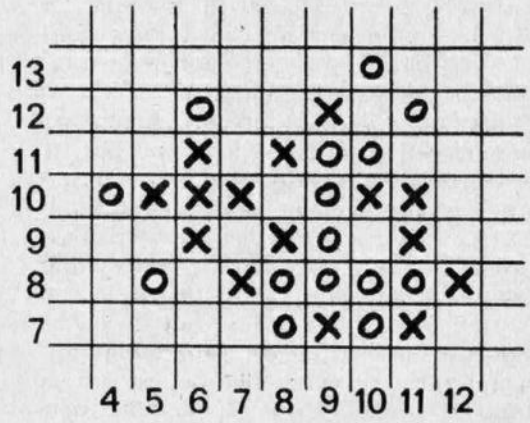
Joueur : 6-10



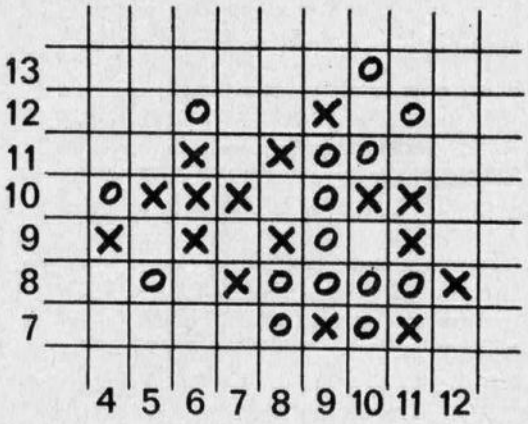
Machine : 4-10



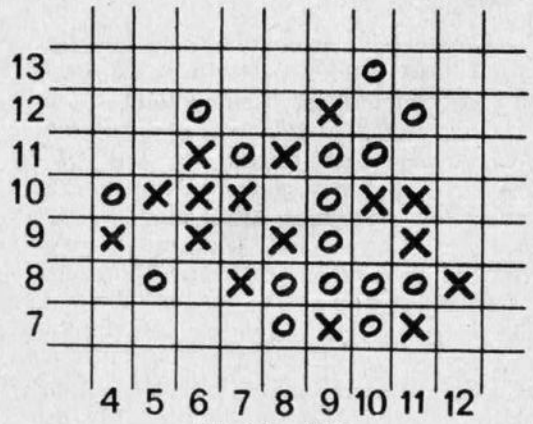
Joueur : 6-11



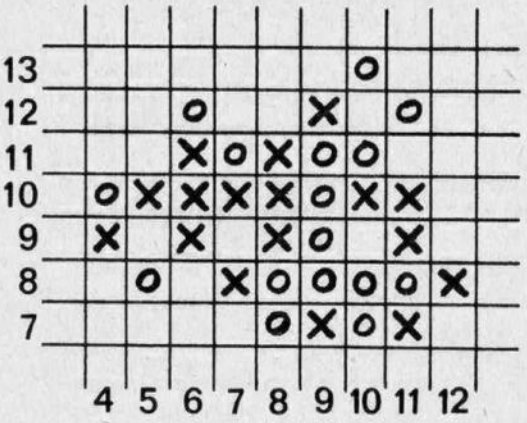
Machine : 6-12



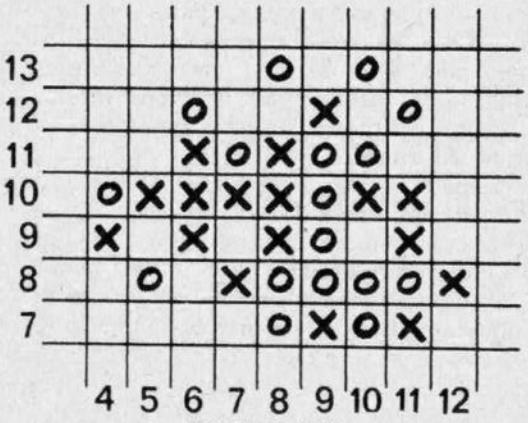
Joueur : 4-9



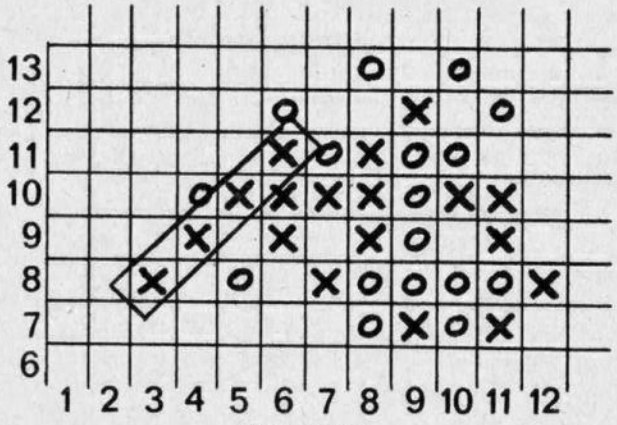
Machine : 7-11



Joueur : 8-10



Machine : 8-13



Joueur : 3-8

Dans certains cas, elles sont innées : pour le papillon, par exemple, on peut dire qu'elles sont apprises par l'évolution des espèces. Dans d'autres cas, elles sont fournies à l'individu par ceux qui sont familiarisés avec le problème. C'est le cas du bridgeur débutant à qui l'on donne les règles citées plus haut. C'est aussi celui de l'élève à qui son professeur essaye de donner une méthode efficace, que ce soit pour résoudre un problème de mathématiques ou pour faire une version latine. Enfin, dans certains cas, nous les trouvons nous-mêmes, à mesure que nous acquérons de l'expérience.

Dans le cas des programmes, les heuristiques sont actuellement toujours données par le programmeur. C'est une très grave limitation : il est difficile de trouver des heuristiques efficaces, et souvent nous ne savons pas nous-mêmes celles que nous employons. Les heuristiques ne sont généralement efficaces que pour un petit nombre de problèmes. Celles utiles aux échecs sont rarement utiles aux dames. Si un programme ne sait pas trouver des heuristiques, il manque de généralité. Un problème essentiel pour les années à venir est de réaliser des programmes généraux capables de trouver des heuristiques adaptées à chaque type de problème qu'on leur donne à résoudre.

CONCLUSION

On pourrait dire en parlant de ce qui a été fait en intelligence artificielle jusqu'à présent que l'on a obtenu des résultats faibles dans des domaines sans intérêt. Ceci est un peu exagéré, mais il y a un fond de vérité. Partant de là, certains ont conclu un peu hâtivement qu'il fallait cesser les recherches.

Ce n'est probablement pas la bonne solution, car le problème à résoudre est extrêmement complexe, sans doute plus difficile que d'arriver sur la Lune ou de maîtriser la fusion de l'atome. Or les recherches fondamentales nécessaires n'ont pas été faites :

— En psychologie, très peu se sont intéressés à la façon dont nous résolvons les problèmes et encore moins aux individus supérieurement doués, qui sont les plus intéressants. A noter toutefois l'étude d'un psychologue hollandais qui a examiné comment jouaient les plus grands joueurs d'échecs de son temps.

— En neurophysiologie, on sait mal comment sont câblées les zones où s'élabore la perception. Cela nous aiderait pourtant beaucoup pour construire des machines spécialisées travaillant en parallèle et très différentes des ordinateurs actuels.

— En linguistique, il faut trouver comment doivent être faites les grammaires pour être utilisables dans le traitement mécanique des langues naturelles.

Par ailleurs, les ordinateurs sont mal adaptés. Ils ont été conçus pour faire efficacement des travaux de gestion ou des calculs de physique, mais pas pour les opérations utilisées en intelligence artificielle. On peut simuler des machines spécialisées sur des ordinateurs actuels, mais cela les ralentit considérablement. En particulier, pour les activités de type perceptif, il semble nécessaire qu'une partie du dispositif soit formée de nombreux éléments simples travaillant en même temps.

Un dernier obstacle est le manque de moyens. Les crédits sont très faibles comparés à ceux dont disposent d'autres sciences qui ne sont pas plus complexes. Cela se traduit par un faible nombre de chercheurs.

D'une façon générale, il ne faut pas attendre de résultats pratiques à court terme, sauf dans le domaine de la lecture optique. Toutefois il peut y avoir des « retombées », sous-produits des recherches : par exemple, cela ouvre de nouveaux points de vue à certaines sciences de l'homme ou fait découvrir de nouvelles méthodes de programmation, car en faisant ces recherches on est amené à établir des méthodes qui, par la suite, peuvent se révéler utiles dans d'autres applications.

Actuellement, si on choisit souvent des problèmes sans intérêt pratique, c'est pour y voir plus clair. Il est bien évident qu'un programme qui joue aux échecs ne sert à rien. Mais on espère, en créant de tels programmes, dégager des concepts importants, découvrir des méthodes applicables à des problèmes pratiques. Les jeux ont l'avantage d'avoir des règles relativement simples, et de présenter pourtant de réelles difficultés, même pour des individus très intelligents.

Quant à savoir ce qui en résulte à long terme, il est prématuré de le dire. On est dans le domaine de la recherche fondamentale. Il est évident que cela aura un jour des conséquences très importantes, car l'intelligence est une de nos caractéristiques essentielles, et, en général, les gens intelligents sont fort utiles dans une entreprise ou une administration.

On ne peut rejeter l'idée qu'il y aura un jour des programmes faisant preuve d'une intelligence largement supérieure à celle du plus grand génie existant. Et même avant d'en arriver là, ces recherches seront utiles pour nous soulager de bien des tâches que nous ne savons encore mécaniser.

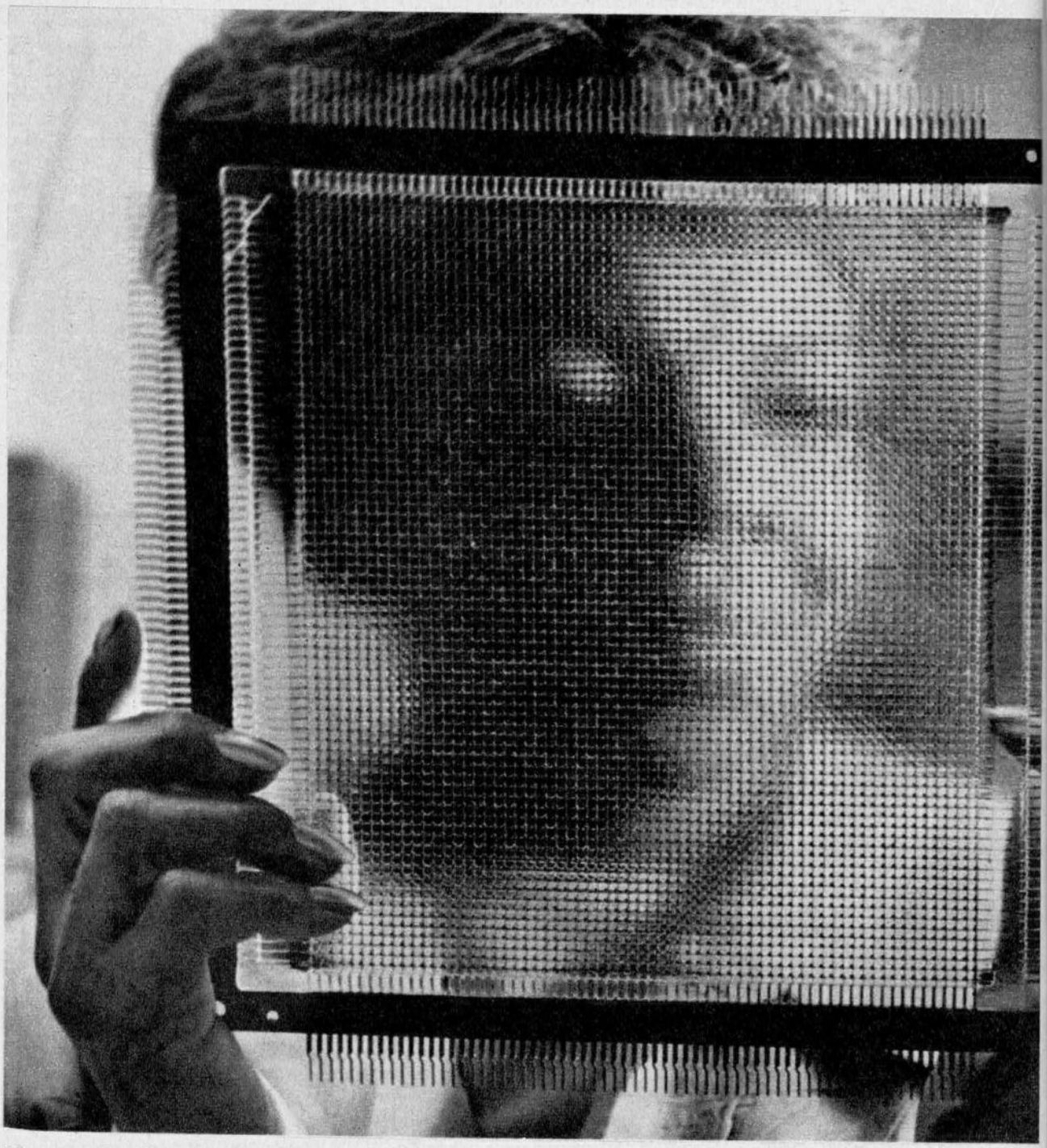
Jacques PITRAT

1900000 personnes liront le numéro de mai de Science et Vie

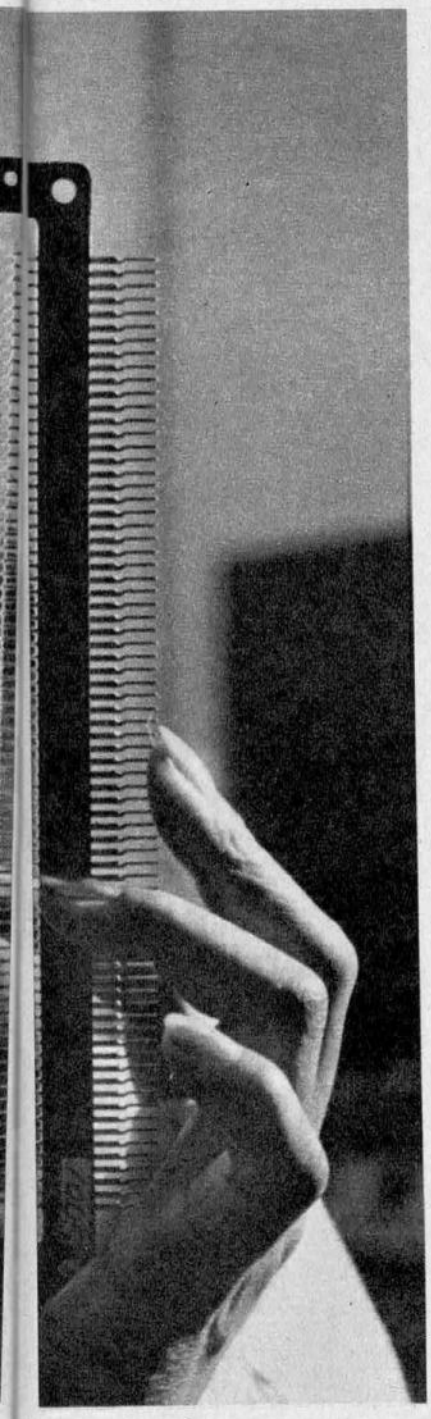
enquête C. E. S. P.

Au sommaire de ce numéro:

• Le paradoxe, en physique, de la « gauche » et de la « droite » • Comment se forme le cerveau • Le chien viverrin envahit l'Europe • Çatal-Hüyük: une cité vieille de 9 000 ans • Echec des armes lourdes au Vietnam • Le banc d'essais des épreuves couleurs sur papier • L'avenir des métiers de la chimie, etc. Le numéro: 3 F, en vente dans tous les kiosques.



Une matrice de mémoire de la nouvelle série de calculateurs N C R. Chaque élément binaire de mémoire est un morceau de fil de cuivre au béryllium de 3 mm de long environ, recouvert d'un film mince ferromagnétique. A la fabrication, ces tronçons de fil sont guidés par un champ magnétique aux centres de 4 608 solénoïdes eux-mêmes bobinés automatiquement directement sur le panneau. L'ensemble est ensuite plastifié. Cycle de la mémoire : 800 nanosecondes.



L'AVENIR

En dix ans, nous avons vu se succéder trois générations de calculateurs électroniques :

— la première génération : numération décimale, tubes, mémoire à tambour magnétique (Burroughs 205, IBM 650, Bull Gamma AET) ;

— la deuxième génération : numération décimale, transistors, mémoire à ferrite (IBM 1401, Bull Gamma 30).

La troisième génération, annoncée par des machines intermédiaires comme la série General Electric 200, présente des caractéristiques moins tranchées sur le plan « hardware » (rappelons que ce terme anglo-saxon, qu'on pourrait traduire par « quincaillerie », désigne le matériel pris en particulier) : la numération est devenue à la fois binaire et décimale, les mémoires à ferrite sont encore d'usage général, mais la technologie est diversifiée. On rencontre des machines à transistors (le calculateur le plus puissant installé, Control Data 6600, la série 400 Bull General Electric, la série 200 Honeywell), des machines à circuits hybrides (IBM 360) et des machines à circuits intégrés monolithiques (Burroughs 3500, RCA/Siemens 70/4004, Univac 9000, SDS/CAE Sigma 7/10 070).

La différence de structure interne des machines a joué un grand rôle dans l'amélioration de vitesse obtenue par rapport à la génération précédente (facteur 10 environ), ainsi que la diminution du cycle de base de la mémoire centrale.

En ce moment, les machines de la 3e génération remplacent progressivement celles de la seconde, dont un grand nombre sont encore en activité.

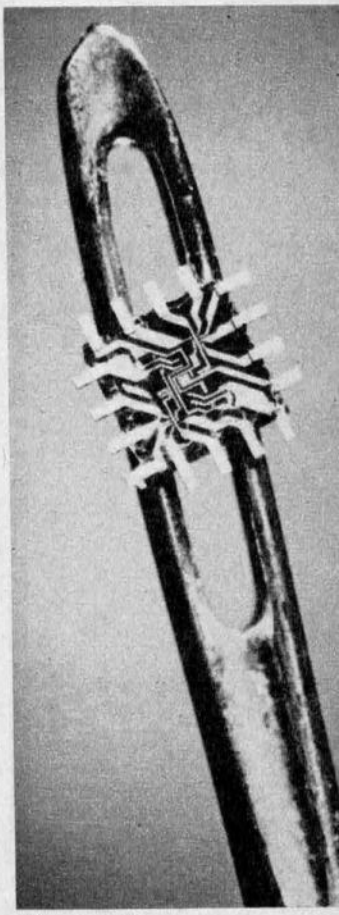
Une exception sur le plan des mémoires : la série 9000 Univac qui utilise non plus des ferrites mais des couches minces sur fil.

Les dix mille portes électroniques

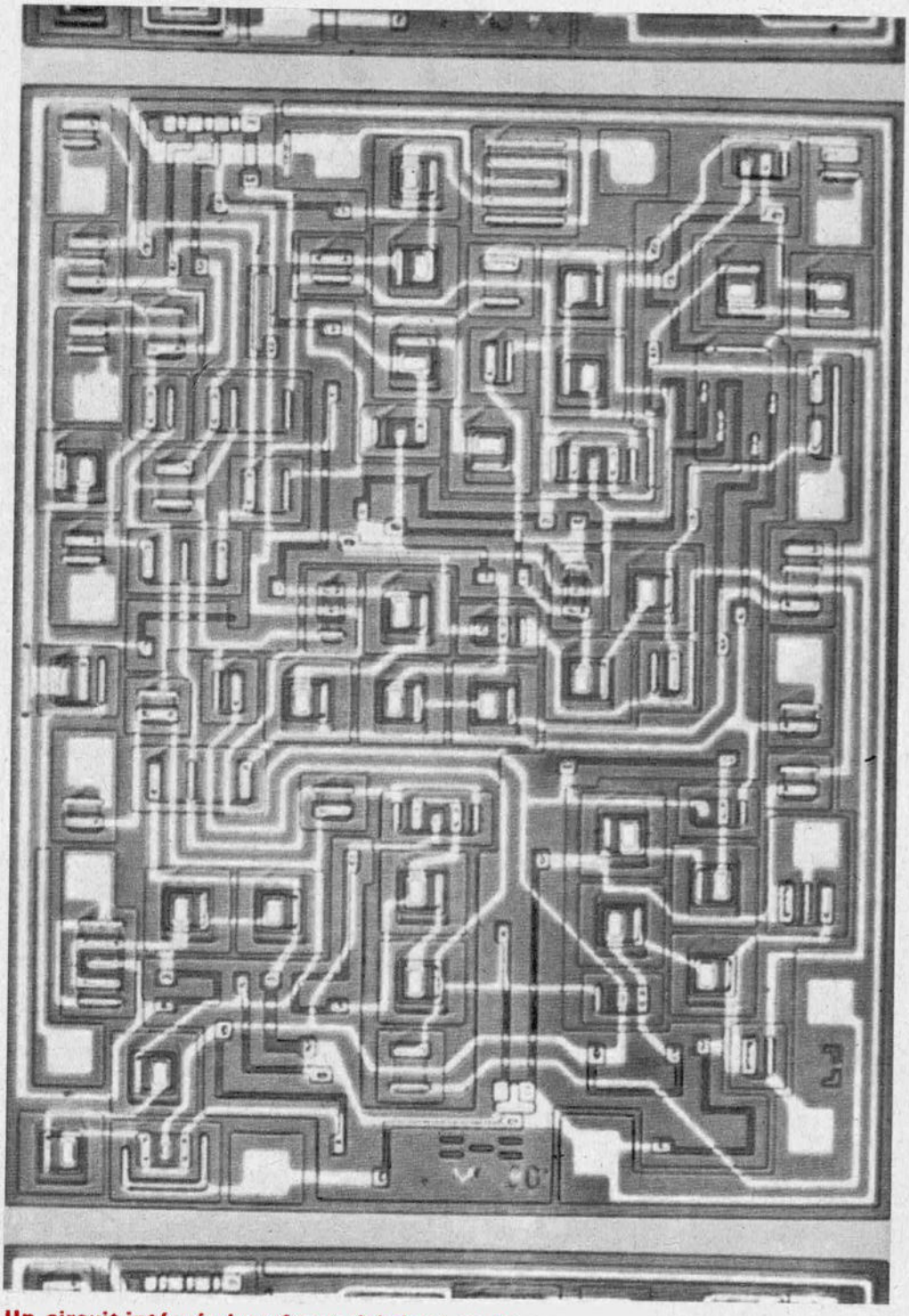
Bien que la notion de génération, essentiellement basée au début sur des considérations technologiques, ait tendance à s'estomper, nous emploierons par commodité ce vocable pour désigner par machines de la 4e génération celles qui commenceront à être livrées vers 1972/1975.

La grande différence qui va se manifester pour cette 4e génération va être la primauté de la technologie, c'est-à-dire du composant. En effet, les progrès dans la voie des circuits intégrés et particulièrement l'appa-

WESTERN ELECTRIC



Un circuit intégré classique : trente éléments sur un millimètre carré, fabrication courante d'il y a deux ans environ. On notera la place prise par les connexions.



Un circuit intégré plus récent, fabriqué en France par R.T.C. (une centaine d'éléments). On voit nettement la métallisation finale dont le réseau blanc relie les divers éléments. Les carrés blancs serviront à la soudure ultrasonique des fils connectant le circuit aux broches de sortie de son boîtier. Les points, chiffres, barres et coins sans signification fonctionnelle servent en réalité à vérifier le positionnement des masques successifs.

rition rapide des circuits intégrés complexes ont surpris tous les spécialistes. En 1960, un circuit intégré moyen (un flip-flop industriel par exemple) coûtait 100 dollars ; en 1964, quatre dollars ; en 1965, un dollar ; il coûte actuellement moins d'un demi-dollar.

Le prix est essentiellement fonction de la proportion d'éléments que l'on arrive à fabriquer sans défauts sur la rondelle de silicium de départ. Au fur et à mesure que cette proportion augmente, on peut se permettre de compliquer le dessin du circuit intégré unitaire sans crainte de voir trop diminuer le nombre de ceux reconnus bons aux tests. Au départ, on ne pouvait envisager que des transistors séparés. Puis on a pu combiner une à deux douzaines d'éléments : c'est la taille des circuits intégrés les plus courants. Mais dès 1965/66, SDS a annoncé qu'il utiliserait pour son calculateur Sigma 7 (en France CAE 10 070) des circuits intégrés fabriqués par Signetics, contenant chacun une mémoire active de 8 bits. Chacun de ces circuits, de 2,6 sur 2,4 millimètres, comprend la logique de décodage d'adresse, huit flip-flops et les transistors de sortie associés, soit 178 transistors, diodes et résistances au total.

Ce mouvement n'a fait que s'accélérer. Dès aujourd'hui, des circuits intégrés comportant 500 éléments sont disponibles ; ce sont déjà ce que nous avons appelé des circuits intégrés complexes. Demain, le nombre d'éléments se comptera en milliers : le prix de la fonction logique unitaire tend vers zéro, et le moment où nous verrons une unité arithmétique et logique de dix mille portes électroniques de la taille d'un bouton de manchette est envisageable. Ces circuits intégrés complexes, dont les hiéroglyphes chatoient de couleurs interférentielles sous l'objectif du microscope, sont d'ailleurs de merveilleux bijoux électroniques aux cristaux couverts d'une ésotérique écriture booléienne.

Mais tout ceci vaut pour la logique et le bloc de calcul de nos machines. Où en sont les progrès pour ce qui est de la mémoire centrale ?

Mémoires et dentellières

Les tores de ferrite, apparemment pourtant menacés d'année en année par les films minces, ont tenu bon jusqu'en 1968. En dix ans, leur rapidité a augmenté de 50 fois, essentiellement par une miniaturisation continue : aujourd'hui, nous sommes cependant arrivés à la limite pratique, les tores n'ayant plus qu'un trou de deux dixièmes de millimètre dans lequel il faut toujours enfiler manuellement de trois à cinq fils. Nous disons bien manuellement, car l'automatisation employée ici est dérisoire et n'a pu s'appliquer qu'à la préparation du travail et aux tests. Ce n'est qu'un des nombreux paradoxes de cette industrie, de voir la partie essentielle du produit le plus complexe créé par l'homme patiemment fabriquée sous la loupe par de pauvres ouvrières du Portugal, de Formose et de Hong-Kong.

Si le ferrite doit survivre, ce sera sous une autre forme : il sera utilisé en feuilles laminées sur lesquelles seront imprimés les circuits de lecture et d'écriture. Le professeur Rachjmann de RCA, inventeur du tore de ferrite, pousse activement ces recherches.

Films et Fils

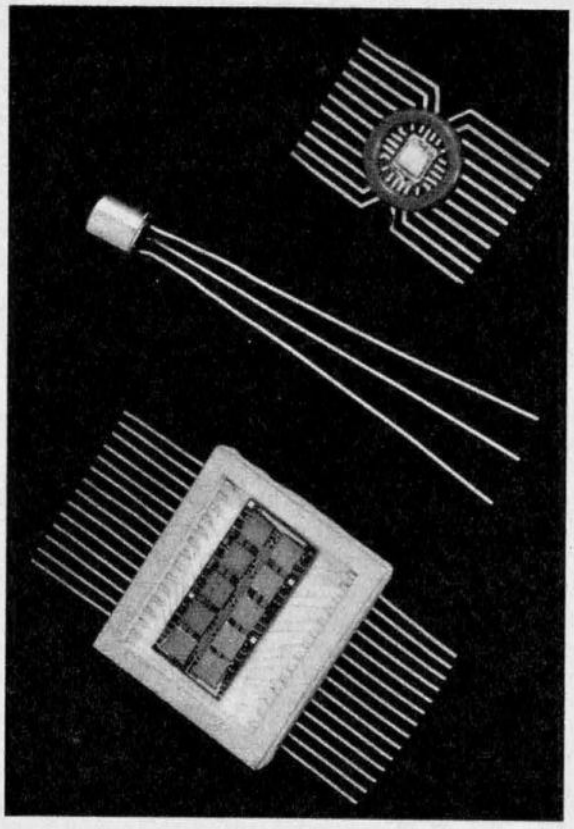
Les films métalliques minces orientés par un fort champ magnétique pendant leur déposition cathodique sous vide présentent des caractéristiques très différentes des ferrites. Le renversement du vecteur d'aimantation peut s'effectuer en un laps de temps dix fois plus court. Jusqu'ici, ce sont des problèmes de fabrication qui ont freiné la généralisation de ce type de mémoire, encore fort coûteux. Seul le B 8500 Burroughs, le plus gros calculateur commercial, en fait actuellement usage : chaque bit est stocké sur un rectangle métallique de 0,6 sur 0,3 mm, épais de 6 millimicrons, déposé sur un substrat de verre au dos duquel sont imprimées les lignes de lecture/écriture. Chaque plaque de 42 sur 70 mm stocke 3072 bits.

Mais c'est sous une autre forme que le film a fait son apparition sur des machines de taille plus courante : toute la série 9000, qui débute à un niveau très bas, est munie de nouvelles mémoires à fil. Un film anisotropique de ferro-nickel (81 % Ni, 19 % Fe), épais de 2 à 3 microns, est déposé sur un fil de cuivre au béryllium de 0,13 mm de diamètre. Le fil sert de fil de lecture pour les bits, les circuits-mots étant imprimés perpendiculairement sur une couverture de verre époxy qui enveloppe (avec interposition d'un isolant) les rangées parallèles de fils.

La densité de stockage est de l'ordre de 1 bit par millimètre. C'est la disposition du film en anneau qui permet d'adopter une épaisseur de plusieurs microns, étant beaucoup plus facile à fabriquer en processus continu car une couche sans trous de quelques dizaines d'angströms est très difficile à obtenir. Résultat net : le prix du bit pour une mémoire à 600 nanosecondes est de 1,9 F, alors que, pour la rapidité ultime de

Trois étapes de réalisation : le transistor, le circuit intégré complexe, l'ensemble des circuits intégrés complexes dans un module. Le circuit intégré complexe (en haut) est un registre à décalage de 200 bits fabriqué aux U.S.A. par Philco : il comprend 1 200 transistors. Dix circuits de ce type, assemblés sur un même substrat de silicium (en bas), forment un registre à décalage de 2 000 bits à 12 000 transistors dans un volume très réduit. Le niveau technique est récent, et date de six mois seulement.

A droite, machine automatique à tester les circuits intégrés : les lames de ressorts appuient les pointes sur les carrés métallisés prévus pour les connexions, et un ensemble électronique automatique de mesure contrôle le circuit intégré correspondant. Ces mesures seront effectuées pour chacun des mille et quelques circuits intégrés fabriqués sur cette tranche circulaire de silicium, chaque circuit défectueux étant marqué automatiquement. Des machines de ce type avec 2 000 pointes sont actuellement à l'étude.



650 à 700 nanosecondes, il coûte 4,5 F en mémoire à ferrite.

Le film mince vient donc juste d'apparaître sur le plan pratique, et ses performances de départ étant déjà excellentes, il semble qu'il soit promis à un grand avenir. Tous les constructeurs étudient activement des solutions du même genre : IBM a en particulier dans ses cartons une curieuse mémoire à chaînette à grandes performances.

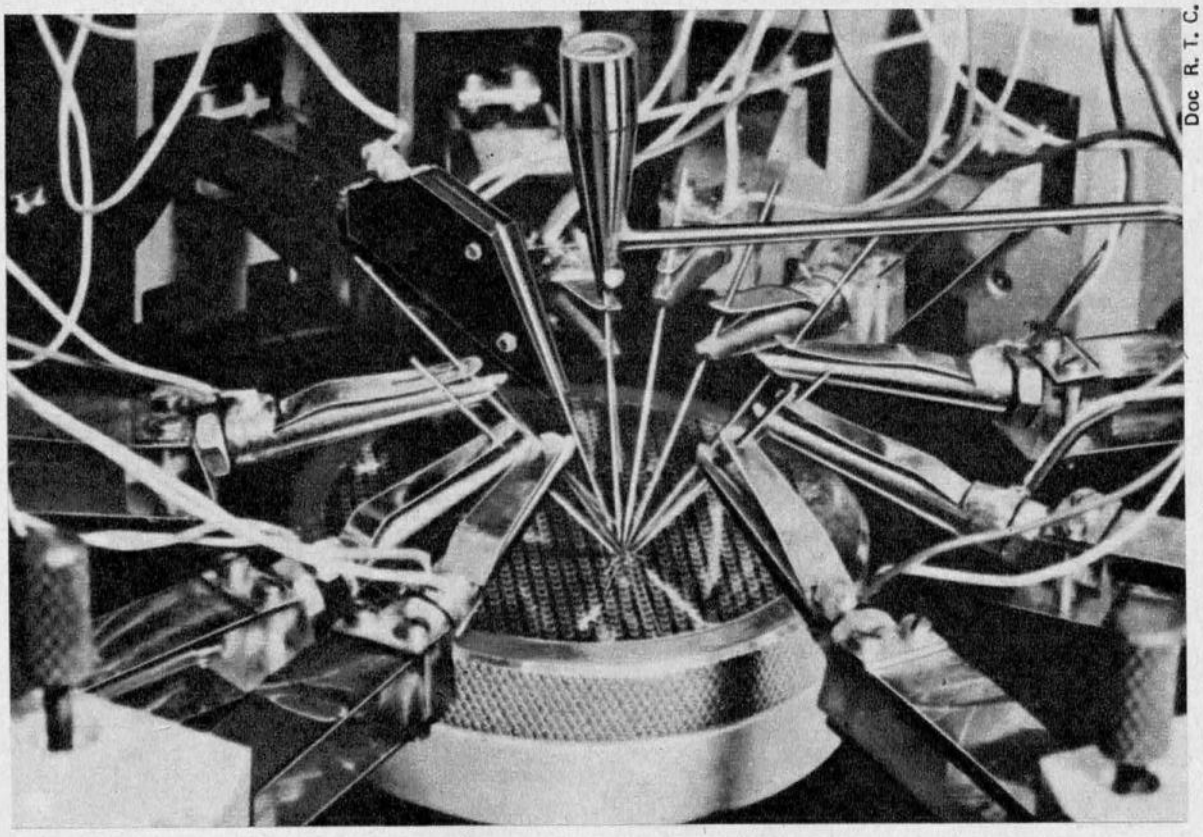
Hélium, étain et plomb

Les mémoires cryoélectriques, où le bit est stocké sous forme d'un anneau de courant qui tourne indéfiniment dans un métal supraconducteur, sont elles aussi à l'étude depuis des années. Si l'entretien d'un bain d'hélium liquide entraîne quelques servitudes (encore que le prix des liquéfacteurs produits en série devienne abordable), les avantages économiques à attendre de ce type de mémoire sont considérables. En effet, les mémoires peuvent être fabriquées par déposition de films épais, sur des plaques de verre par exemple, par des procédés automatiques. La caractéristique la plus intéressante de ces mémoires est que le nombre d'éléments de commutation nécessaires par bit stocké, qui est un des facteurs essentiels du coût d'un système complet de mémoire, est considérablement plus faible.

On voit donc s'ouvrir la possibilité de doter des machines de prix moyen de mémoires de plusieurs millions d'octets avec un cycle de l'ordre de la microseconde, ce qui permettrait d'employer des méthodes et des techniques d'utilisation et de programmation moins conventionnelles d'une efficacité très supérieure.

Mais franchissons un pas de plus : actuellement, pour accéder à une information logée dans la mémoire, on se sert de son adresse dans la quasi-totalité des calculateurs actuels. Par contre, il est évident que d'autres méthodes peuvent exister : lorsque nous recherchons une information dans la prodigieuse mémoire enclose dans notre cerveau, dont la capacité a été évaluée comme étant de l'ordre de 10^{15} bits, c'est par associativité que nous opérons. De même, lorsqu'il s'est agi, pour des problèmes militaires de défense, de reconnaître dans un délai extrêmement court la nature d'un écho-radar ou sonar, seules des méthodes de corrélation électro-optiques ou mieux électroniques et associatives ont permis d'obtenir une réponse dans un délai suffisamment court.

Prenons deux exemples de ce problème : l'un des rôles essentiels des « ferret-ships » comme le Pueblo est d'accroître la bibliothèque des signatures sonar et hydrophone



Doc R. T. C.

des sous-marins étrangers. Chaque type de submersible possède son spectogramme sonore spatial caractéristique qui permet de le reconnaître à coup sûr : 450 signatures sont actuellement recensées par ces navires américains. Cette précieuse bibliothèque est diffusée à tous les ordinateurs embarqués du *Naval Tactical Data System* de la flotte américaine, et constamment mise à jour. En cas d'attaque, elle sert à identifier très rapidement le submersible, c'est-à-dire à entrer dans le système ses capacités de feu, d'évasion, etc.

Deuxième exemple, qui se déroule dans une échelle de temps encore plus courte : la défense anti-engins balistiques. Dix cônes thermonucléaires, entourés chacun de plusieurs dizaines de leurres, foncent à Mach 20 vers leur objectif, tandis que la gigantesque antenne radar à déflexion électronique de faisceau jongle entre ces centaines d'échos. Un énorme calculateur électronique contrôle individuellement les milliers d'émetteurs-récepteurs juxtaposés qui forment la mosaïque de l'antenne fixe et, jouant sur leur phase, de microseconde en microseconde, oriente le faisceau d'ondes vers la position future d'un des objets, puis vers une autre, puis revient pour capter un écho qui doit arriver à un instant précalculé, puis repart, à un rythme incroyable. En même temps, il analyse par corrélation la scintillation des échos, leurs signatures, en les comparant à celles déjà stockées en mémoire : seule une recherche associative, c'est-à-dire basée sur le contenu lui-même de la mémoire (et non sur une adresse), permet l'identification à temps des cônes à détruire au milieu de cette foule d'échos.

Ces mémoires associatives, ou mémoires adressables par leur contenu, sont celles que nous utiliserons demain dans nos calculateurs civils. Elles permettront l'utilisation de principes de programmation entièrement nouveaux, feront éclater la structure que von Neumann a imaginée à l'origine pour nos machines. Déjà aujourd'hui, bien qu'utilisées de façon très limitée, elles accélèrent notablement le fonctionnement des calculateurs à partage de temps ; demain, elles révolutionneront nos concepts traditionnels.

Dessins sur le sable

Mais si les mémoires cryoélectriques paraissent bien se prêter à la fabrication de mémoires associatives et de structures de calculateurs réparties, étranges pour nos yeux routiniers, d'autres peuvent les concurrencer, dans une gamme de vitesse plus élevée. En effet, nous avons vu que les cir-

cuits intégrés sur leur cristal de silicium pouvaient recevoir un dessin de plus en plus complexe de silice, de métal, de dopants divers, constituant aussi bien des circuits logiques que des mémoires dites alors actives.

Jusqu'ici les mémoires actives, de par leur prix lorsqu'elles étaient réalisées par des transistors discrets, étaient réservées aux registres des calculateurs. Mais avec l'accroissement constant de complexité des circuits intégrés complexes nous voyons apparaître le moment où des mémoires actives importantes, dotées d'une logique associée qui pourra, par exemple, les rendre associatives, peuvent devenir économiquement faisables : leur avantage sera un temps d'accès de quelques dizaines de nanosecondes en technologie monolithique, ou quelques centaines en technologie MOS *(Metal Oxide Semiconductor,* employant des transistors à effet de champ, et permettant à l'heure actuelle le plus grand nombre des composants par circuit intégré).

Les machines de l'avenir seront donc probablement munies d'une hiérarchie de mémoires, rendant leur structure interne encore plus complexe, ce qui ne facilitera pas la tâche des programmeurs... surtout qu'une nouvelle tendance de structure s'affirme, et non des plus simples, pour le traitement des problèmes de très grande ampleur.

Parallèle contre filiforme

La plupart des calculateurs ne peuvent exécuter qu'un programme, qu'une instruction à la fois, même en multiprogrammation ou temps partagé, puisqu'ils ne comportent en général qu'un seul bloc de calcul, ou « processeur ». A quoi pourrait servir, remarquerez-vous, que la machine soit capable de traiter plusieurs instructions à la fois ? Ne faut-il pas de toutes façons effectuer pas à pas n'importe quel calcul, en attendant le résultat d'un pas pour pouvoir entreprendre le suivant ?

Eh bien non, pas toujours. Parmi les plus volumineux problèmes actuels, pour lesquels on bute sur la vitesse des calculateurs existants, beaucoup peuvent être décomposés en centaines de sous-problèmes traitables en parallèle : prévisions météorologiques, dépouillement de clichés de chambres à bulles, projets de réacteurs nucléaires, etc. Actuellement, avec les calculateurs les plus rapides du monde fonctionnant à quelques millions d'opérations par seconde, les calculs de prévisions météorologiques sont plus lents que le déroulement du temps... Par exemple, chaque fois que des intégrations d'équations aux dérivées partielles sont à effectuer sur une vaste grille, il est possible de la découper en une mosaïque dont chaque « processeur » va traiter un élément, échangeant avec ses voisins les conditions aux limites. C'est ainsi que l'Illiac IV, dont le père est Daniel Slotnick et qui sera réalisé par Burroughs, utilisera 256 processeurs identiques et sera probablement la première machine à atteindre le milliard d'opérations par seconde.

L'idée qui vient tout de suite, devant ce réseau de processeurs, est de varier électroniquement sa configuration topologique et de le conformer topographiquement à la nature du problème à traiter, par exemple en cylindre, ou en polyèdre pour un problème terrestre global.

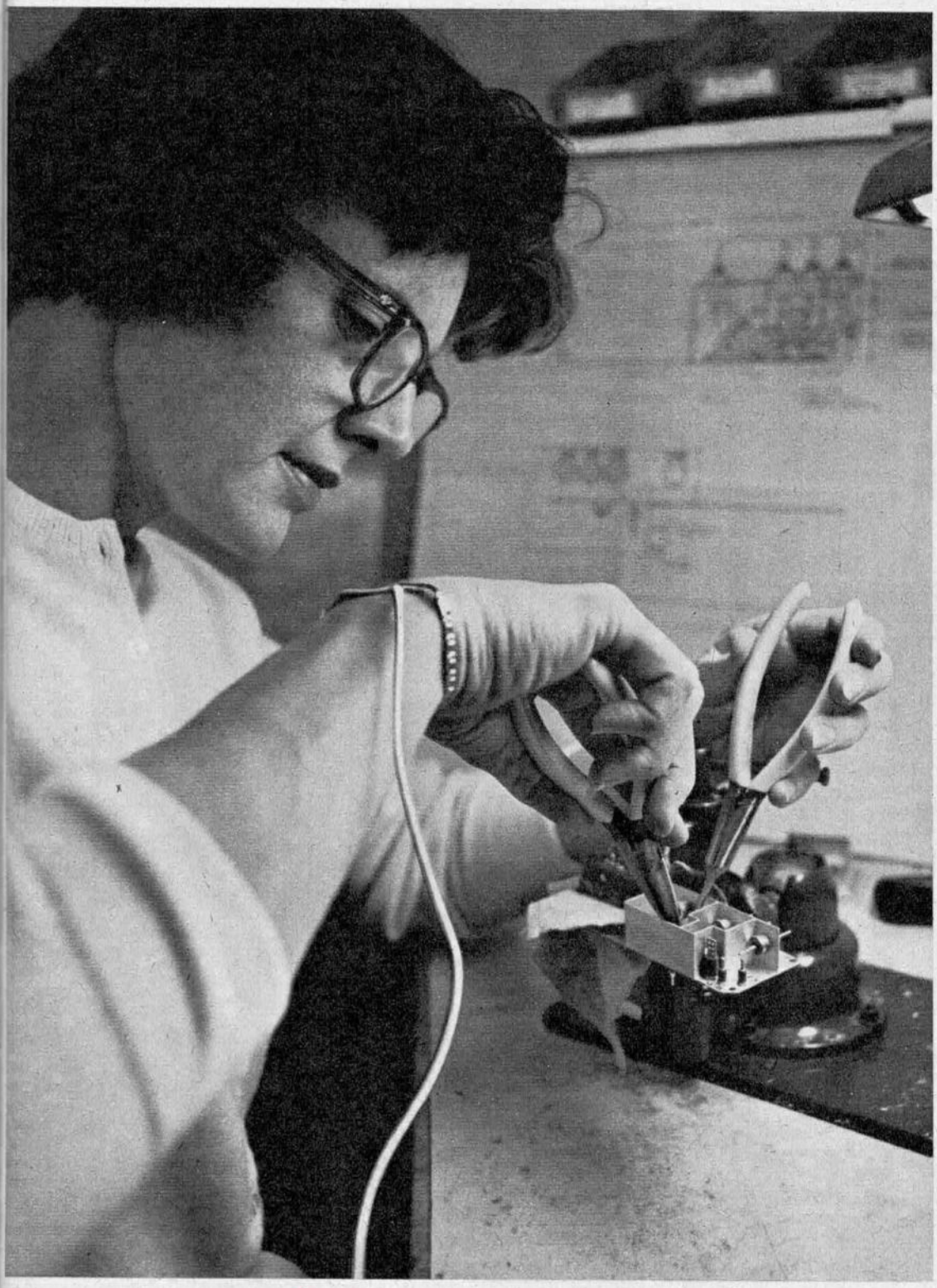
Les quatre couches

La complexité prévisible de ces nouvelles machines nous amène tout naturellement à nous poser des questions sur l'aspect « software » (terme anglo-saxon désignant essentiellement les programmes). Comment se présenteront-elles à l'utilisateur ? La machine ne lui est en fait perceptible qu'à travers plusieurs couches que représente la figure de la page 155.

Au centre, le « hardware » dont nous venons de parler en détail. A l'extérieur, une couche de « software » double : programmes de base fournis par le constructeur (tris, compilateurs, etc.) d'une part, et programmes d'applications écrits par les utilisateurs, le plus souvent actuellement en un langage évolué genre COBOL. A mi-épaisseur, une nouvelle couche que nous voyons déjà apparaître sur les machines de la troisième génération, le « firmware » (*firm*, c'est-à-dire entre *hard* et *soft !*).

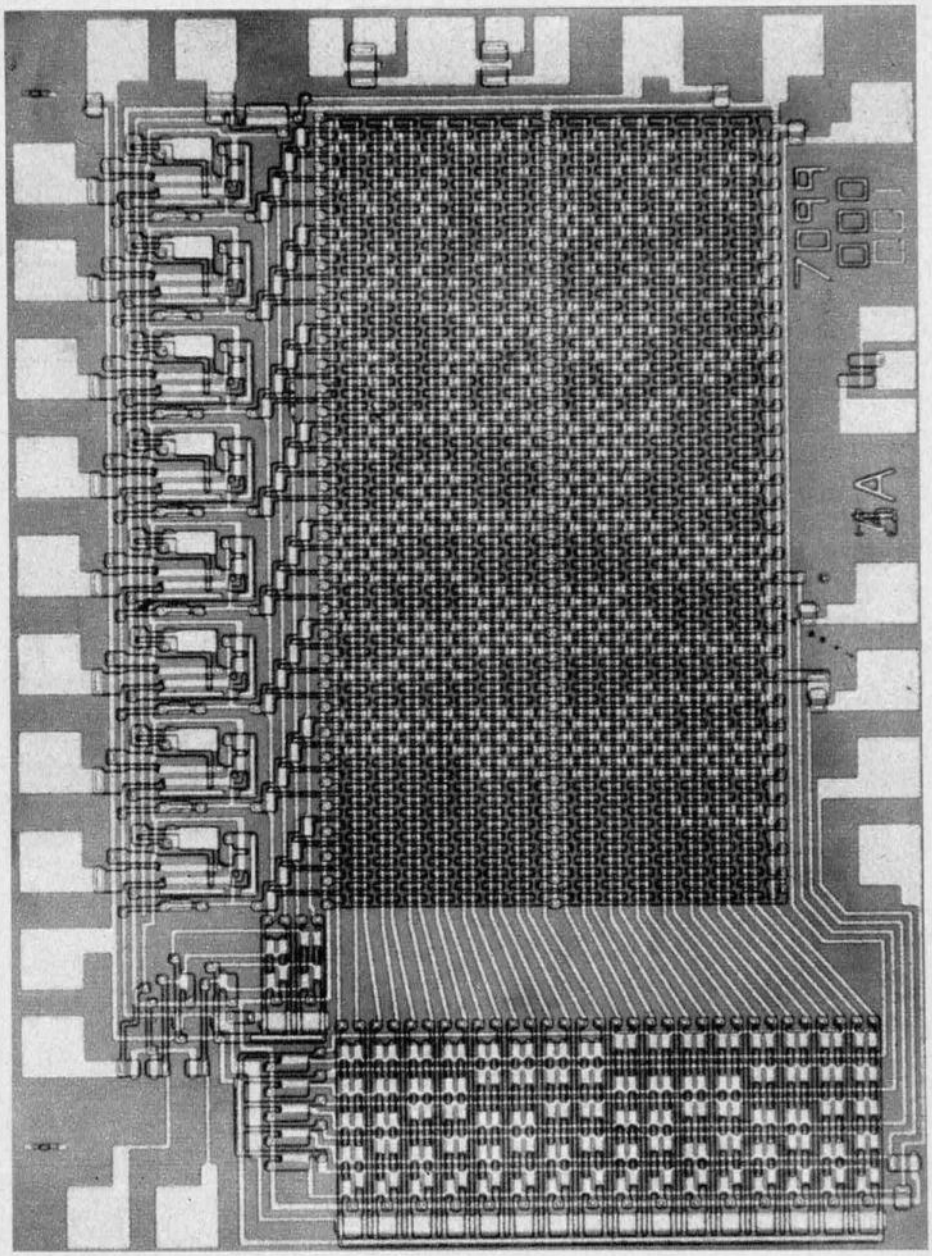
En effet, sur ces machines, le câblage des fonctions logiques n'est plus assuré au niveau de l'instruction, mais à un niveau nettement plus élémentaire : le déroulement d'un bon nombre de ces fonctions logiques sera donc nécessaire pour l'exécution d'une seule instruction. C'est là qu'intervient le « firmware » : il est constitué par l'enregistrement sous forme de microprogramme des séquences élémentaires composant chaque instruction, cet enregistrement étant effectué dans une mémoire spéciale distincte de la mémoire centrale de l'ordinateur. Cette mémoire spéciale est en général du type mémoire à lecture seule (identique à une mémoire inaltérable, ou mémoire morte), inductive, capacitive ou magnétique.

Le « firmware », qui permet de concevoir des instructions plus variées et plus puissantes (au prix d'une certaine perte de per-

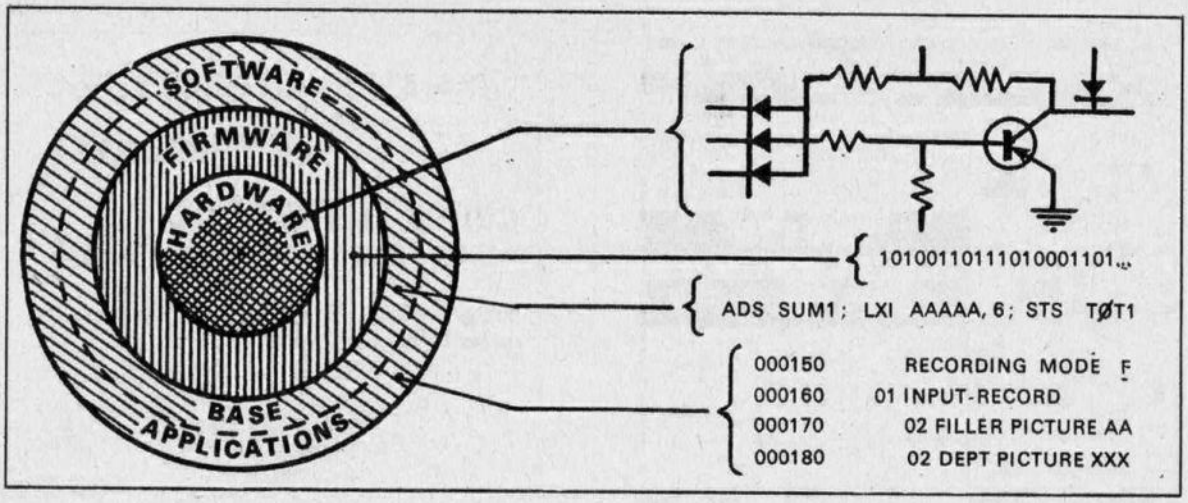


Sensibilité et délicatesse: cette ouvrière de la Western Electric travaille sur des diodes miniatures si sensibles qu'il a fallu lui mettre au poignet un bracelet métallique relié à la terre afin d'écouler les charges d'électricité statique engendrées par le frottement de ses vêtements.

Les quatre couches de l'ordinateur de la quatrième génération et leurs langages spécifiques. Au centre, le « hardware », le matériel lui-même, avec ses fonctions de base réalisées par câblage. A l'extérieur, la couche double de « software » : programmes de base fournis par le constructeur (langage assembleur) et programmes d'application des utilisateurs (ici en langage COBOL). Entre les deux, le « firmware » avec les microprogrammes codés directement en binaire prévus par le constructeur sur mémoires spéciales distinctes de la mémoire centrale.



Une mémoire morte de 1 024 bits réalisée par Philco en technologie MOS : 1 340 éléments sur un rectangle de silicium de 1,9 × 2,5 mm. Cette mémoire est organisée en 128 mots de 8 bits, dont le contenu défini par l'utilisateur est fixé au dernier stade des opérations de fabrication. Elle peut stocker par exemple des microprogrammes, des tables numériques de conversion ou des dessins de caractères.



formances), va voir son utilisation par les constructeurs s'étendre considérablement pour la 4e génération. Corrélativement, nous allons voir apparaître une différenciation plus poussée des programmeurs :

— programmeurs d'applications (chez les utilisateurs) ;

— programmeurs de systèmes (chez les utilisateurs) ;

— programmeurs de « software » (chez les constructeurs) ;

— programmeurs de « firmware » (chez les constructeurs).

On pourra, par exemple, imaginer que l'unité centrale du calculateur soit munie d'un système de lecture de cartes magnétiques spéciales qui permettraient à un moment donné de charger des microprogrammes nouveaux, changeant le « firmware » de la machine, et lui donnant à chaque fois une physionomie différente : elle pourra être binaire avec des instructions mathématiques spéciales, ou totalement décimale pour la gestion, ou pourvue de possibilités élaborées de traitement de liste et de manipulation symbolique. Il n'est plus maintenant impensable d'envisager des calculateurs dont le langage machine soit directement du Fortran !

Les murs ultimes

Le premier mur surgit du fait que, par principe même, l'ordinateur ne peut résoudre que la classe de problèmes abordables par la machine qu'a définie Turing, c'est-à-dire l'ensemble récursif des démonstrations possibles : au contraire, le récursivement dénombrable lui est interdit. Peut-on tourner cette difficulté fondamentale et envisager le recours à la force brute, l'essai pour chaque problème de toutes les méthodes de résolution possibles, le remplacement de l'imagination créatrice par la systématisation ?

La réponse est non, quelle que soit l'augmentation de vitesse des ordinateurs (qui sera d'ailleurs freinée par la limite de la vitesse de propagation des signaux proche de celle de la lumière, limite contre laquelle on se battra par la microminiaturisation jusqu'à ce que les éléments soient si petits que les parasites dus aux rayons cosmiques deviennent trop gênants). Cette augmentation se heurtera au deuxième mur ultime, le mur de la combinatoire.

Nous ne saurions mieux exprimer la hauteur de ce mur qu'en reprenant la saisissante comparaison du professeur Fortet : si, dès la création du monde, chacun des atomes de l'univers avait été utilisé comme élément binaire d'un ordinateur cosmique total, et qu'il ait immédiatement commencé ses calculs, il n'aurait toujours pas à l'heure actuelle fini d'établir la totalité des déroulements possibles d'une partie d'échecs.

Il est facile d'extrapoler cette comparaison au domaine des mathématiques pris dans son ensemble, par exemple. Encore que l'énormité des nombres mis en jeu défie l'appréhension...

La conclusion s'impose d'elle-même : devant les 14 milliards de neurones, les quelque 10 à la puissance 15 bits d'information et les systèmes de recherche associative de notre cerveau, la machine n'est pas compétitive pour une très large classe de problèmes, ceux qui font intervenir l'intelligence créatrice. Par contre, heuristiquement utilisé comme auxiliaire du cerveau, le calculateur lui apporte une multiplication considérable de ses possibilités : là est la vraie voie de l'avenir, celle d'une étroite et fertile collaboration entre l'homme et les machines qu'il a créées pour son usage.

J.P. BOUHOT

TOUJOURS MIEUX et MOINS CHER
c'est notre devise

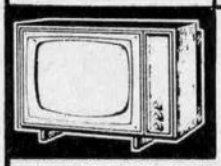
TOUTES LES MEILLEURES MARQUES et uniquement les TOUS DERNIERS MODÈLES de l'année, avec MAXIMUM de GARANTIES et de REMISES-CRÉDIT pour tous articles avec mêmes remises.

TOUTES LES ÉCONOMIES
que vous recherchez sur...

Tous les PRIX indiqués sont NET toutes taxes comprises

TÉLÉVISION, PHOTO-CINÉMA et accessoires, RADIO-TRANSISTORS, ÉLECTROPHONES, MAGNÉTOPHONES, Machines à écrire, Montres, Rasoirs, TOUT L'ÉLECTRO-MÉNAGER : réfrigérateurs, chauffage, machines à coudre, outillage fixe ou portatif, tondeuses à gazon, bateaux, moteurs, camping

REMINGTON Monzrch luxe **444 F**
OLIVETTI Lettera 32 **370 F**



MATELAS, SOMMIERS
CANAPÉS, FAUTEUILS
grandes marques

DOCUMENTATION GRATUITE sur demande

RADIO J. S.
Maison de confiance fondée en 1933

107-109, rue des HAIES
PARIS XX[e] tél : PYR. 27-10
(4 lignes groupées)

Métro : Maraîchers - Autobus 26 : arrêt Orteaux
MAGASINS OUVERTS du LUNDI au SAMEDI inclus
de 9 h à 12 h et de 14 h à 19 h
SERVICE après-vente

Fournisseur du personnel des Administrations, Coopératives, etc.

FORMATION INFORMATIQUE
PAR
CORRESPONDANCE
ET
COURS ENREGISTRÉS
Centre Georges BOOLE

Programmes fixes ou programmes conçus à la demande

Enseignement général
Spécialisations
Perfectionnement
Promotion sociale
Recyclage
Mise à jour dans

Tous les domaines de pointe

Mathématiques
Programmation
Ordinateurs
Sciences physiques
Électronique
Automatisation

Conseils et renseignements gratuits :
Service des relations extérieures
GAUTRON, 744 B. P. 38, PARIS X[e]

SI FACILE!...

EN 4 MOIS

1500 F PAR MOIS
AU DÉPART
MAXIMUM ILLIMITÉ
EN DEVENANT COMME LUI
OPÉRATEUR
PROGRAMMEUR
ANALYSTE
} SUR MATÉRIEL **I.B.M.**

★ Aucun diplôme exigé
★ Cours personnalisés par correspondance
★ Conseils gratuits des professeurs
★ Exercices progressifs
★ Situation d'avenir
★ Documentation gratuite sur simple demande

CENTRE D'INSTRUCTION
FREJEAN 72, Bd Sébastopol (S.V.) **PARIS 3[e]**
TÉL. 272-85-87 — MÉTRO : Réaumur-Sébastopol

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE

24, Rue Chauchat, Paris 9e - Tél. 824 72 86
C.C.P. 4192-26 Paris

CALCULATRICES — ORDINATEURS — INFORMATIQUE

Cette bibliographie, établie d'après le stock d'ouvrages sélectionnés de notre librairie, ne représente qu'une partie des ouvrages figurant dans notre catalogue général dont la 11e édition 1968 paraîtra le 30 mai 1968, prix franco F 6,00.

CALCULATRICES ÉLECTRONIQUES

PRINCIPES DES CALCULATRICES NUMERIQUES AUTOMATIQUES. Naslin P. — Organisation logique d'une calculatrice numérique universelle. Technologie des calculatrices numériques automatiques. 226 p. 11 × 16, 160 fig., relié toile souple. 3e éd. 1965 ..... **F 19,50**

ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT DES MACHINES ARITHMETIQUES. Boucher H. — Généralités sur le calcul numérique. **Technique des machines à calculer arithmétiques :** Langage des machines. Organes de mémoire. Bloc de calcul. Organes d'accès. **Fonctionnement des calculatrices arithmétiques :** Bloc de commande. Programmation. Sécurité de fonctionnement. Evolution et tendances. 428 p. 16,5 × 24,5, 233 fig., 3 pl., relié toile. 1960 ..... **F 72,00**

CALCULATEURS NUMERIQUES. Eléments et circuits. Richards R.K. (Traduit de l'américain par Soubiès-Camy H.) — Historique et introduction. Circuits de commutation à diodes. Système logique : de circuits à tubes à vide, de circuits à transistors, de circuits à noyaux magnétiques. Mémoires à grande capacité : dispositifs non magnétiques. Enregistrement des informations sur une surface magnétique. Mémoires à noyaux magnétiques. Circuits et tubes de comptage décimal. Eléments de circuits divers. Traducteurs analogiques-digitaux et digitaux-analogiques. 522 p. 15,5 × 24, 166 fig., relié toile. 1959 .. **F 65,80**

CALCULATRICES ELECTRONIQUES NUMERIQUES. Principes et composants (B.B. Technique Philips). Haas G. (Traduit du néerlandais par Aronssohn R.) — Introduction. Principes des machines à calculer digitales électroniques. Eléments de construction des calculatrices numériques. Exemples de montages. 276 p. 16 × 25, 138 fig., relié toile. 1963 ..... **F 37,00**

CALCULATRICES NUMERIQUES AUTOMATIQUES. Wilkes M.V. (Traduit de l'anglais par Ernest J.) — Le développement de la technique des calculatrices numériques automatiques. Les principes de l'organisation logique des machines. Les principes de l'établissement du programme. Calculatrices à relais. Mémoires. Circuits de commutation et de calcul électroniques. Construction et fonctionnement des calculatrices numériques. 392 p. 14 × 22, 116 fig., relié toile. 1959 ..... **F 39,00**

PROGRAMMATION DES CALCULATRICES NUMERIQUES. McCracken D.D. (Traduit de l'américain par Pèpe P.) — Principes du calcul et du codage. Systèmes de numération binaire et octale. Méthodes de placement de la virgule. Calcul d'adresse. Boucles dans le calcul. Organigrammes. Registres d'index. Sous-programmes. Méthodes de virgule flottante. Méthodes d'entrée-sortie. Programmation avec bande magnétique. Vérification du programme. Méthodes de programmation : relative, interprétative. Calculs à précision double. Techniques diverses de programmation. Codage automatique. Codes numériques des ordres pour la CENTY. Résumé des instructions de la CENTY. Programmation à accès minimal. Calculatrices à programmation externe. Table de conversion octale-décimale des nombres entiers. Table de conversion octale-décimale des fractions. 256 p. 16 × 25, 23 fig., relié toile. 1960. **F 37,00**

LOGIQUE DE LA PROGRAMMATION SUR LES ENSEMBLES ELECTRONIQUES. Thüring B. (Traduit de l'allemand par Vangrevelinghe G.) — Représentation des nombres et des mots. Opérations fondamentales. Programmation des problèmes de gestion. Programme général, programme principal et sous-programmes. Organigramme et représentation algorithmique de programmes. Programmation dans le calcul scientifique. Entrée et sortie. Unités d'information, blocs d'information, fichiers. Classement, surimpression. Appendice. 244 p. 16 × 25, 109 fig., relié toile. 1963 ..... **F 57,60**

INTRODUCTION AU CALCUL ANALOGIQUE. Principes et applications. Truitt T.D. et Rogers A.E. (Traduit de l'américain par Callens P.) — **Principes et techniques du calcul analogique :** Introduction aux méthodes analogiques. Pourquoi employer des analogies ? Eléments fonctionnels de calcul. Les mathématiques dans le calcul analogique. **Calculateurs analogiques universels :** Calculateurs analogiques en courant continu : éléments linéaires ; éléments multiplicateurs. Calculateur analogique : générations de fonctions. **Emploi du calculateur analogique en courant continu :** Mesures et commandes. Programmation et problèmes. Applications. 408 p. 16 × 25, 258 fig., relié toile. 1964 ..... **F 59,60**

LES MEMOIRES DANS LES CALCULATEURS NUMERIQUES. Renwick W. (Traduit de l'anglais par Poterat J.) — Introduction. Mémoires dotées de lignes à retard. Mémoires électrostatiques et ferroélectriques. Enregistrement sur surface magnétique. Mémoires à noyaux magnétiques. Eléments de mémoire magnétique autres que les noyaux ou tores. Mémoires non magnétiques à accès direct. Mémoires non effaçables. Circuits d'accès, de chiffres et de commande dans les ensembles à accès direct. Récapitulation de l'évolution en cours et à venir. 224 p. 16 × 25, 140 fig., 9 tabl. 1967 ..... **F 35,00**

ARITHMETIQUE POUR CALCULATEURS ELECTRONIQUES. Klinger F. — Les opérations dans les systèmes binaire, tertiaire, octal, etc., dans les divers codes, le tout suivi d'exercices avec leurs solutions. Les systèmes de numération. Additions. Soustractions. Multiplications. Divisions. Les décimales. Autres systèmes. Codes. 176 p. 16 × 22. 1963 ..... **F 12,40**

AUTOMATISMES : RESEAUX DE TRANSMISSION (aide-mémoire Technor). **Ribérol H.** — Généralités. Algèbre logique (algèbre de Boole). Résolution des problèmes. Etablissements des réseaux. Automatismes cycliques. Compléments. Documentation générale. 232 p. 13,5 × 21, très nombr. fig. et schémas, cart. 1967 ..... **F 18,50**

ALGÈBRE DE BOOLE

COURS DE MATHEMATIQUES SUPERIEURES APPLIQUEES. Denis-Papin M. et Kaufmann A. — Tome V. — Cours de calcul booléien appliqué. Les algèbres booléiennes : Notions sur la théorie des ensembles. Les relations binaires. Notations et propriétés de l'algèbre de Boole. Les deux formes canoniques. Constituants élémentaires et premières simplifications de fonctions. Algèbre binaire de Boole. Représentation géométrique des fonctions booléiennes. Equations booléiennes. Notions sur les treillis. Méthodes de réduction des fonctions booléiennes. Applications de l'algèbre booléienne à la recherche opérationnelle. **Applications au calcul binaire.** Notions élémentaires sur les calculateurs arithmétiques. Circuits à relais. Etude des chaînes de contacts. Circuits réflexes. Circuits à tubes à vide. Circuits à diode. Circuits à transistrons. Circuits à tores magnétiques. Cryotrons.

Exercices et solutions. 496 p. 15,5 × 23, 373 fig., relié toile. 1963 ..... **F 77,80**

EXERCICES DE CALCUL BOOLEIEN avec leurs solutions. Denis-Papin M. et Malgrange Y. — Exercices sur l'algèbre de Boole. Opérations booléiennes sur les ensembles. Exercices sur les relations binaires. Exercices introductifs à l'algèbre de Boole. Exercices sur les formes canoniques et les constituants élémentaires. Tableaux de valeurs. Utilisation de nouvelles opérations booléiennes. Représentation géométrique. Equations booléiennes. Treillis. Méthode de réduction des fonctions booléiennes. **Exercices d'application :** Circuits à relais. Chaînes de contact. Circuits réflexes. Circuits à tubes à vide. Circuits à diodes. Circuits à transistrons. Circuits divers. Exercices divers. 300 p. 16 × 25, 173 fig. 1966 ..... **F 49,00**

ALGEBRE DE BOOLE ET MACHINES LOGIQUES. Kuntzmann J. et Naslin P. — Circuits combinatoires : Théorie des consensus. Programmes booléiens pour la simplification des fonctions logiques. Fonctions couvertes par termes premiers essentiels. Calcul matriciel booléien. Minimalisation des fonctions à seuil équipondérées. **Circuits séquentiels :** Codage des matrices des phases des systèmes séquentiels asynchrones. Minimalisation du nombre des états internes des réseaux séquentiels incomplètement spécifiés. Codage et décomposition des machines séquentielles. Réalisation des circuits séquentiels commandés par impulsions et aléas. Réseaux séquentiels à mémoire finie. Synthèse des circuits séquentiels fiables. Analyse des circuits séquentiels à l'aide de graphes. Machines séquentielles incomplètement définies et apprentissage. 330 p. 16 × 25, 163 fig., relié toile. 1967 ..... **F 80,00**

TECHNIQUES BOOLEENNES ET CALCULATEURS ARITHMETIQUES. Chinal J. — Notions générales : Systèmes arithmétiques. Ensembles. Relations. Fonctions. Structures algébriques. **Systèmes de numération. Codes :** binaire pur, DCB, à distance unité. Congruences d'entiers et clés de contrôle. **Algèbre des contacts. Algèbre des classes. Algèbre de la logique. Algèbres booléennes. Fonctions booléennes.** Représentations géométriques des fonctions booléennes. **Applications et exemples.** Portes. Réseaux combinationnels. **Simplification des réseaux combinationnels :** critères, fonction de coût. Algorithme de Quine-McCluskey. Décompositions fonctionnelles, disjointes, non disjointes. **Notion de réseau séquentiel.** Exemples. **Réseaux séquentiels. Expressions régulières et événements réguliers. Simplification des réseaux séquentiels** (cas complètement spécifié ou non). **Synthèse des réseaux séquentiels synchrones. Compteurs.** 526 p. 16 × 25, 160 fig., relié toile. 1967. **F 131,60**

L'ALGEBRE DE BOOLE ET SON UTILISATION. Flegg H.G. (Traduit de l'anglais par Duby C.) — Introduction. Nombres binaires. L'algèbre des classes. Le calcul des propositions. Commutateurs et algèbres de commutation. Méthodes élémentaires de simplification. Représentation géométrique dans un espace à N dimensions. Fonctions symétriques. Matrices à éléments booléiens. Appendices. 260 p. 16 × 25, 168 fig., relié toile. 1967 ... **F 49,40**

RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

INITIATION A L'ORGANISATION ET A LA RECHERCHE OPERATIONNELLE. Muller Y. — Généralités sur les problèmes d'organisation. L'observation d'un domaine. Les méthodes d'études. Etude des domaines à un seul exécutant. Etude des domaines à plusieurs personnes. Organisation de la production dans un domaine complexe. Les phénomènes d'attente. La vie des équipements. L'étude des stocks. Les problèmes de transport et de trafic. Théorie de la décision. Tables. 388 p. 16 × 24,5, 152 fig., 36 tabl., cart., 2e éd. 1965 ..... **F 69,00**

EXERCICES D'ORGANISATION ET DE RECHERCHE OPERATIONNELLE. Muller Y. — Le marchand de journaux. Tracé d'une autoroute. Dépouillement d'un chronométrage. Exemple d'application de la méthode M.T.M. Choix d'un programme de travail dans un atelier de mécanique. Etude d'un mélange de plusieurs charbons. Affectation de cinq techniciens. Problème d'affectation. Etude et choix d'un planning de travaux. Le problème du garagiste. Politique d'entretien d'un matériel. Programme de fabrication d'une usine. Gestion d'un dépôt de pièces de rechange. Programme de transport. Simulation de gestion. Tables numériques. 242 p. 16 × 25, 46 fig., 131 tabl., cart. 1965 ..... **F 43,00**

COURS DE MATHEMATIQUES SUPERIEURES APPLIQUEES. Denis-Papin M. et Kaufmann A. — Tome I : Cours de calcul opérationnel appliqué (transformation de Carson-Laplace). Cet ouvrage s'appuie sur la transformation de Laplace et développe les applications pratiques du calcul opérationnel à l'étude des régimes transitoires en électricité, en mécanique et en acoustique. 238 p. 15,5 × 23, 125 fig., relié toile, 4e éd. 1962 **F 26,90**

EXERCICES DE CALCUL OPERATIONNEL AVEC LEURS SOLUTIONS (transformation de Carson-Laplace). Denis-Papin M., Faure R. et Kaufmann A. — La transformation de Carson-Laplace. La transformation inverse. L'intégrale de Mellin-Fourier. La notion générale d'impédance. Table des principaux théorèmes du calcul opérationnel. Table des transformées. 190 p. 16 × 25, 66 fig., 3e éd. 1966 ..... **F 18,40**

METHODES ET MODELES DE LA RECHERCHE OPERATIONNELLE (Les mathématiques de l'entreprise). Kaufmann A. — Tome I. Méthodes et modèles. Généralités. Programmes linéaires. Phénomènes d'attente. Problèmes de stocks. Usure. Remplacements et maintenance des équipements. **Développements mathématiques:** Rappel mathématique. Méthodes de calcul des programmes linéaires. Théorie des phénomènes d'attente. Étude analytique des problèmes de stocks. Étude analytique des problèmes d'usure, de remplacement et de maintenance des équipements. Conclusion. 534 p. 14 × 22, très nombr. fig., relié toile. 1962 ..... **F 78,20**

Tome II. Programmation dynamique. Théorie des jeux de stratégie. **Développements mathématiques.** Principales propriétés des graphes. Propriétés mathématiques de la programmation dynamique, des jeux de stratégie. 564 p. 14 × 22, 253 fig., relié toile. 1964 ..... **F 78,20**

LES ORDINATEURS

TRAITE DES ORDINATEURS. Chorafas D.N. (Traduit de l'américain). — Introduction. Éléments et matériaux. L'unité arithmétique. La mémoire. Trois sujets fondamentaux. Programmation automatique. Applications. 400 p. 17,5 × 24, 147 fig., relié toile. 1960 .... **F 61,70**

ELEMENTS FONDAMENTAUX DU TRAITEMENT DE L'INFORMATION. Poulain P. — Tome II. Description schématique des organes de l'ensemble électronique. Définition et caractéristiques essentielles de l'ordinateur. Structure d'un ensemble électronique. Principes mathématiques et physiques. **L'information et son support dans les ensembles électroniques.** Notion d'information : saisie, mise sur support, supports d'information employant des caractères imprimés ou des perforations, comportant un enregistrement magnétique. Organes d'entrée et de sortie de l'information. Unité centrale de l'ordinateur. **Notions élémentaires de programmation des ensembles électroniques.** Notion de programme enregistré. Évolution de la programmation. Fonctionnement de l'unité centrale. - Une étude de mécanisation administrative. Solution mécanographique. Implantation d'un ensemble électronique; installation et problèmes humains. 224 p. 16 × 25, 85 schémas, 20 photos, 12 tabl. de caractéristiques. 1967 ..... **F 18,30**
Tome I. Les cartes perforées (nouvelle édition en préparation).

PRINCIPES DE PROGRAMMATION DES ORDINATEURS. Lauret A. — Généralités sur la programmation. Les instructions: Définitions et rappels. Le programme; caractéristiques générales. Les différentes catégories de machines; conséquences sur les codes d'instructions. **Les mécanismes de la programmation:** Rangement du programme en mémoire. Ruptures de séquences. Problèmes itératifs. Modification automatique du programme enregistré. Les sous-programmes; procédés de programmation. **Auxiliaires de programmation:** Liminaire. Qu'est-ce que le « software » ? Programmes et sous-programmes standard. Les langages symboliques et les programmes de traduction. Les programmes de mise au point. Les programmes d'exploitation. **Terminologie du traitement de l'information. Exercices:** Énoncés. Corrigés. 168 p. 16,5 × 24,5, 73 fig. et tabl., cart. 1967 .. **F 47,00**

CONCEPTION DE LA PROGRAMMATION DES ORDINATEURS. J. du Roscoät. — Problèmes et méthodes: L'analyse. Étude fonctionnelle d'un programme. Le code-machine. Problèmes de fichiers. Exploitation de la simultanéité. Déroulement du programme. Mécanismes élémentaires du traitement. Méthodes et artifices de trai-

tement en mémoire centrale. Problèmes standard de traitement interne. Entrées-sorties; la carte perforée. Le ruban magnétique. Entrées-sorties séquentielles diverses. Mémoires à accès aléatoire. Assemblage du programme; segmentation. Programmes standard et systèmes. **Le langage de la programmation:** Autocodes. Assemblage d'un programme en autocode. Description d'un assembleur: à un seul niveau Langages orientés-problèmes. Le Cobol. Le Fortran et l'Algol. 372 p. 16,5 × 24,5, 145 fig., cart. 1967 **F 82,00**

PROGRAMMATION DU SYSTEME IBM 360. Opler A. et une équipe de Computer Usage Company (C.U.C.). (Traduit de l'américain). — Introduction au système 360. — Langage d'assemblage. — Adressage. Transferts. Indéxage, bouclage. Liaisons externes. Liaisons internes aux sous-programmes. Structure et organisation du programme. — Arithmétique binaire. Arithmétique virgule flottante. Arithmétique décimale. Conversions arithmétiques. — Manipulation du bit. Manipulation de l'octet. Manipulation du mot. Consultation de table. Transformation des caractères. Sortie des résultats. — Le PSW et les interruptions. Entrées-sorties (aspect technologique). Entrées-sorties (programmation). Appendices. 352 p. 16 × 25, 24 fig., relié toile. 1967 ..... **F 56,60**

LES APPLICATIONS DES ORDINATEURS DANS L'INDUSTRIE, LE COMMERCE ET LES SERVICES PUBLICS. Chorafas D.N. (Traduit de l'anglais par **Voraz Ch.**). — L'avenir des applications des ordinateurs. Introduction dans l'entreprise moderne. Application dans diverses entreprises. Le traitement automatique des données de vente. La gestion de la production par le traitement automatique des données et la gestion automatique de stock. Exemples d'applications industrielles. Emploi dans les opérations de fabrication. Les ensembles électroniques de traitement des données. Emploi dans le trafic aérien. Applications générales dans les administrations remarquables. 288 p. 16 × 24, 30 illustr., relié toile. 1962 ... **F 58,60**

UTILISATION DES ORDINATEURS A DISTANCE EN TEMPS REEL ET EN TEMPS PARTAGE (Monographies d'Informatique - 1) Bolliet L. — Traitement à distance en temps réel et en temps partagé. Techniques de fonctionnement. **Présentation de systèmes de traitement de l'information en temps réel et en temps partagé.** IBM-360 modèle 67. Système GE-645. Univac 1108. **Systèmes de programmation.** Étude d'un système en temps partagé pour ordinateur moyen. Traitement à distance en mode moniteur et mode conversationnel. Système multipupitres destiné à l'enseignement. L.S.A.: Vérification du programme. Méthodes de programmation: relative, interprétative. Calculs à précision double. Techniques diverses de programmation. Codage automatique. Codes numériques des ordres pour la CENTY. Programmation à accès minimal. Calculatrices à programmation externe. Table de conversion octale-décimale des nombres entiers et des fractions. 352 p. 16 × 25, 1967 ..... **F 40,00**

INTRODUCTION AUX ENSEMBLES ELECTRONIQUES DE GESTION. Mauduit B. — Généralités: Historique des ordinateurs. Domaine d'application des ensembles électroniques de gestion. L'automatisation des travaux administratifs. Les ensembles de gestion et les matériels utilisés dans d'autres domaines. Représentation des données dans les ensembles électroniques de gestion. **Notions de technologie et de programmation:** Principes de fonctionnement. L'unité arithmétique et logique. La transmission des informations. La conservation des données. Les organes d'entrée et de sortie. La programmation. **La mise en œuvre des ensembles électroniques de gestion:** Étude préliminaire. Étude des problèmes. Conception du nouveau système. **Conclusion. Annexes:** Travaux de normalisation sur les organigrammes. Exemple de programme scientifique, de programme de gestion. Tableau des principaux matériels du marché français. 244 p. 15,5 × 24, 55 fig., 5 hors-textes, 1966 ..... **F 30,85**

METHODES ET TECHNIQUES NUMERIQUES. (Technor Sup.) Delanette M. — Systèmes de numération. Algèbre de Boole (algèbre binaire): méthodes logiques. — Théorie de l'information. Machines à cartes perforées. Petites machines à calculer. Comptage, affichage numérique. Calculateurs numériques (ordinateurs). Calculateurs analogiques. Systèmes à programme. Calculateurs électroniques de production. Commande numérique. — **Documentation générale.** 240 p. 16 × 24. Très nombr. fig., schémas et photos, cart. 1967 ..... **F 32,00**

GESTION AUTOMATISEE DES ENTREPRISES. Lhoste et Pèpe. — Introduction : La gestion des entreprises. Principes et constituants des machines à cartes perforées. **Constitution d'un fichier de cartes perforées:** Opérations et matériels de création d'un fichier. Opérations préliminaires à la création des cartes. Emploi des cartes perforées. **(Exploitation d'un fichier de cartes perforées).** La trieuse. La tabulatrice. Matériels de mise à jour et de préparation des fichiers de travail. Matériels de calcul. Ensembles électroniques. Les papiers et les imprimés. **Création d'un atelier:** Les exploitations d'entreprise et la carte perforée. Automatisation par les autres systèmes. Adoption d'un système automatisé. Les travaux à façon. Acquisition du matériel. Implantation, locaux, courant. Les personnels. **Conduite d'un atelier:** Structure et ambiance. Préparation et exécution des travaux. Programmation des machines par connexions. Programmation des ensembles électroniques. Incidents et accidents. Contrôle des travaux. Prix de revient et rentabilité. 488 p. 21 × 27. 137 fig., relié toile, 3e édit., 1964 ..... **F 90,50**

L'INFLUENCE DES ORDINATEURS SUR LA STRUCTURE DES ENTREPRISES. Politique du traitement de l'information. Choix et gestion d'un centre de calcul. Chorafas D.N. Traduit de l'anglais. — **Problèmes de structure, d'organisation et leur évolution :** L'information et la hiérarchie. Une définition nouvelle de l'organisation. L'organisateur et la mécanisation. La souplesse nécessaire. — **Les choix et leurs aléas :** Le choix du matériel. Classification des matériels de calcul. Etude des offres de constructeurs d'ensembles électroniques. Etude d'un insuccès. Commentaire sur le cas de la Société chimique du Mont-Rose. — **Face à face avec les problèmes :** Définir les problèmes. La programmation. Les processus de travail. Comment juger le travail de programmation. — **Organisation du centre de calcul :** Structure de la fonction. Considérations financières. Les fonctions de l'analyste. Procédés de travail des centres de calcul. 228 p. 16 × 24, 23 fig., cart. 1964 ..... F **44,75**

ORGANISATION DES BUREAUX ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION (Encyclopédie Comptable, tome V). Chardonnet L. et Gaudriault R. — Les différents aspects de la gestion d'une entreprise. Étude des services: Principes généraux d'organisation. La gestion administrative. La gestion industrielle. La gestion commerciale. La gestion du personnel. La gestion financière. La gestion comptable. **Équipement des bureaux. Traitement de l'information:** Classement et matériels de classement. L'outillage et le matériel de bureau. La duplication et la reproduction des documents. Les différents types d'appareils ou machines à calculer. Les machines comptables. Généralités sur le traitement automatique de l'information. Les matériels d'exploitation directe des cartes perforées. Les ensembles électroniques de gestion. Exemples d'application du traitement automatique de l'information. Exercices et sujets d'examen. 436 p. 21 × 27. Très nombr. fig., photos et tabl. 1967 ..... **F 87,00**

LA MECANOGRAPHIE. — Favier J. et Thomelin R. — Machines à calculer et machines comptables. Machines à cartes perforées, calculatrices et ensembles électroniques. Machines à calculer et machines comptables. Applications. Machines à cartes perforées et applications. Tabulatrices, trieuses, perforatrices, interclasseuses, reproductrices comparatrices, machines à interpréter, calculatrices, machines spéciales. Prix de revient des travaux mécanographiques. Calculatrices et ensembles électroniques actuels: description des grandes marques du marché. Mise en œuvre des ensembles électroniques de gestion. 294 p. 16 × 24, 220 fig., 6e édit. 1965 **F 26,00**

L'INFORMATION

MACHINES DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION. Circuits et programmes. Debraine P. — Tome I: Etude logique et construction des circuits. — Présentation des techniques binaires. Systèmes de numération. — Algèbre de Boole : Logique des circuits de commutation. Formes normales et représentation des fonctions booléiennes. Simplification des fonctions logiques. — Etude logique des fonctions du temps. Relais électromagnétiques. Conception des schémas de circuits à relais. Les diodes dans les circuits de commutation. Les transistors en commutation. Les circuits magnétiques en commutation. Eléments et blocs fonctionnels de base. Circuits séquentiels. Décomposition des fonctions logiques. Mémoires. Acquisition et présentation des informations. Circuits arithmétiques. Eléments de la théorie de l'information et télétransmissions. Exercices par chapitre. 454 p. 16,5 × 24,5, 373 fig., cart. 1967. F **88,00**

En préparation :
Tome II : Programmation et systèmes de programmes.

COURS DE MATHEMATIQUES SUPERIEURES APPLIQUEES. Denis-Papin M. et Kaufmann A. — Tome IV. Eléments de calcul informationnel. Rappels mathématiques. Notions sommaires sur les probabilités. La statistique. Notions sur la théorie de l'information. La transmission de l'information dans les machines à calculer. De la thermodynamique à l'information. Annexes. 124 p. 15,5 × 23, 22 fig., relié toile, 1960 ..... **F 21,80**

EXERCICES DE CALCUL INFORMATIONNEL avec leurs solutions. Cullmann G. et Denis-Papin M. — Rappels mathématiques: Systèmes de numération. Permutations, arrangements, combinaisons. **Notions sur les probabilités:** Généralités. Probabilités conditionnelles. Théorème de Bayes. Variable aléatoire. **La statistique:** Définitions. Représentations graphiques. Paramètres caractéristiques d'une distribution de fréquences. Les lois statistiques. Dénombrement des messages pouvant être émis par une source. L'entropie, mesure d'incertitude d'un système. Codage et transmission de l'information. **Codes détecteurs et correcteurs d'erreurs:** Généralités sur le codage. Espace vectoriel à n dimensions. Codes linéaires. Codes binaires cycliques. Codes à enchaînement. Annexes. 222 p. 16 × 25. 42 fig. 32 tabl. 1967 ..... **F 40,00**

LES TECHNIQUES BINAIRES ET LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION. Soubiès-Camy H. — Principes de l'algèbre logique et opérations de base. Fonctions de commutation. Technologie des circuits logiques de base. Comptage binaire et décimal. Opérations et circuits arithmétiques. Notions sur les techniques de programmation et l'agencement de l'unité centrale d'un calcul numérique. La mise en mémoire des informations. Méthodes d'enregistrement et de lecture des informations. Organes d'entrée et de sortie. Traduction analogique-digitale des informations. Traduction digitale-analogique des informations. Les techniques binaires appliquées : à la transmission cyclique des télémesures, à la transmission des télécommandes et des télésignalisations. Étude qualitative des différents types de bascules à transistors rencontrés dans les techniques binaires. 538 p. 16 × 25, 255 fig., relié toile, 2e édit., 1966 ..... **F 100,00**

LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION DANS L'ENTREPRISE. Grégory R. H. et Van Horn R. L. (Traduit de l'américain par **Roux C.**). **— Tome I: Principes et méthodes. — Méthodes modernes de traitement de l'information:** Pourquoi et comment traiter l'information en affaires. Traitement mécanographique des données. Méthodes de traitement. **Études des systèmes:** Analyse et critique des systèmes; comment aborder leur étude. **Contexte économique des systèmes:** Données et information: prix de revient et valeur. Étude économique des systèmes. **Acquisition et emploi des appareils:** Étude prospective. Étude pratique et choix de l'appareillage. Installation et révision. 336 p. 16 × 25, 44 fig. relié toile. 1966 ..... **F 59,70**
Tome II: Programmation. — Appareillage automatique: Traitement mécanographique des données. Appareillage d'entrée et de sortie. Mémoires. Opérateur arithmétique et organe de commande. Appareils de traitement automatique. **Programmation:** Programmation COBOL-1. Langage-machine Wordcom. Langage-machine Fieldcom. Méthodes modernes 436 p. 16 × 26. 79 fig., relié toile. 1966 ..... **F 80,20**

COMPRENDRE ET ORGANISER LE TRAITEMENT AUTOMATIQUE DE L'INFORMATION. Bernard J. — Véritable cours, accessible sans aucune formation préalable, ce livre a précisément pour but d'enseigner progressivement l'organisation des traitements les plus complexes. **Comprendre:** La machine à traiter l'information. Un peu de technologie. Instructions et programmes. **Organiser:** Fichiers. Exploitation des fichiers dans les mémoires séquentielles, dans les mémoires à accès direct. Opérations de traitement. Étude du traitement d'une application donnée. Compléments et dispositifs technologiques. 424 p. 16 × 25, 193 fig., 2e édit. 1967 ..... **F 60,70**

LES ORDINATEURS, L'ANALYSE ET L'ORGANISATION. Martzloff C. — Les ordinateurs. Les ordinateurs et les travaux administratifs. L'analyse et les analistes. La terminologie de l'analyse. L'étude du problème. Définition de la solution. Préparation de l'analyse. La géographie des données. Les organigrammes. Contrôles et généralisations. La mise en œuvre. Conclusion: l'avenir de l'analyse. 304 p. 14 × 22, 57 fig., relié toile. 1966 ... **F 59,70**

FORTRAN IV (Centre interarmées de Recherche opérationnelle A1). Dreyfus M. — Écriture des opérantes. Opérateurs arithmétiques. Opérateurs logiques. Ruptures de séquence. Boucles de programme. Entrées sorties. Fonction et sous-programmes Fortran. Commun et équivalence. Ordres exécutables et non. Préparation des programmes. Mise au point des programmes. Exercices. 184 p. 16 × 25, fig. 1967 ..... **F 28,80**

ALGOL. Théorie et pratique. Arsac J., Lentin A., Nivat M. et Nolin L. — Les notions d'algorithme et de langage algorithmique. **— Syntaxe et sémantique d'algol :** Premier niveau syntaxique : Structure des programmes. Expressions arithmétiques et déclarations. Instructions. — Second niveau syntaxique : Expressions booléennes. Aiguillages, fonctions, procédures (quelques exemples et règles d'emploi). **— Algol par l'usage :** Recueil d'exemples gradués. Résumé des règles de syntaxe. 206 p. 21 × 27. 1965 ..... F **46,30**

COURS PRATIQUE DE LANGAGE ALGOL. Laborde J. — Introduction à la programmation en langage Algol. Mécanisation des calculs. Machines à calculer et leurs langages. Éléments du langage. Écriture des nombres. Écriture des nombres permise par le compilateur. Présentation d'un programme. Programmes réalisant l'addition 98 + 7,4 = 105,4. Écriture et perforation des données. Procédures de lecture des données. Procédure d'écriture. T.P. Expressions arithmétiques simples. Fonctions standard. Le signe d'affectation de valeur: =. Étiquette. Instruction **aller à.** Instruction conditionnelle. Instruction composée. T.P. Expressions. Instruction **pour.** Variable indicée. Tableau. T.P. Bloc. Portée des déclarations. T.P. Définition et utilité des procédures. Déclarations de procédures. Instruction de procédures. T.P. Fonction de procédure. T.P. Appendice. Procédures (partie valeur, effet de bord, récursivité). Expressions booléiennes. Aiguillage. Déclaration de type rémanent. Réponses aux questions. Devoirs surveillés et leurs corrigés. Tableaux syntaxiques. Table alphabétique. 272 p. 16 × 25, 50 organigrammes, 20 p. de tableaux. 1967 ..... **F 30,00**

NOTIONS SUR LES GRAMMAIRES FORMELLES. Gross M. et Lentin A. — Préliminaires logico-algébriques. Quelques classes remarquables de langage. Le point de vue algébrique. Appendice : Grammaires transformationnelles. 200 p. 21 × 27, nbr. fig. et schémas. 1967 ..... F **41,00**

COMMANDES PAR CORRESPONDANCE

Les commandes doivent être adressées à la LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, Paris (9e). Elles doivent être accompagnées de leur montant, soit sous forme de chèque bancaire ou de mandat-poste (mandat-carte ou mandat-lettre), soit sous forme de virement ou de versement au Compte Chèque Postal de la Librairie: Paris 4192 - 26. Au montant de la commande doivent être ajoutés les frais d'expédition, soit 10 % (avec un minimum de F 1,10). Envoi recommandé: France : F 1,00, étranger: F 2,00.

Il n'est fait aucun envoi contre remboursement.

LIBRAIRIE SCIENCE ET VIE, 24, rue Chauchat, PARIS (9e)

La Librairie est ouverte de 8 h 30 à 12 h 30 et de 14 h à 18 h 30. Fermeture du samedi 12 h au lundi 14 h.

Le directeur de la publication : Jacques DUPUY — Dépôt légal : 1968, N° 8 020 — Imp. des Dernières Nouvelles de Strasbourg

"ÉTUDES CHEZ SOI"

L'enseignement par correspondance de

L'ÉCOLE UNIVERSELLE

59, BOULEVARD EXELMANS, PARIS - 16e

14, chemin de Fabron, NICE — 11, Pl. Jules-Ferry, LYON 6e

permet de faire chez soi, à tout âge, dans le minimum de temps et avec le minimum de frais, des études complètes dans toutes les branches du savoir, d'obtenir, dans les conditions les plus favorables, tous diplômes et toutes situations.

Demandez l'envoi gratuit de la brochure qui vous intéresse :

T.C. 158 : Toutes les Classes, tous les Examens : du cours préparatoire aux classes terminales A, B, C, D, T — C.E.P., C.E.G., B.E., E.N., C.A.P., B.E.P.C., Entrée en 6e, Baccalauréats - **Cl. des Lycées Techniques :** Baccalauréats de Technicien, Brevets de Technicien - Cl. préparatoires aux Grandes Ecoles.

E.D. 158 : Etudes de Droit : Admission en Faculté des non-bacheliers. Capacité, Licence, Carrières Juridiques (Magistrature, Barreau, etc.).

E.S. 158 : Etudes supérieures de Sciences : Admission en Faculté des non-bacheliers, I.P.E.S., D.U.E.S., 1re et 2e année, Licence, C.A.P.E.S., Agrégation - **Médecine :** C.P.E.M., 1re et 2e année - **Pharmacie :** 1re année - **Etudes dentaires :** 1re année.

E.L. 158 : Etudes supérieures de Lettres : Admission Faculté des non-bacheliers, I.P.E.S., D.U.E.L., C.A.P.E.S., Agrégation.

G.E. 158 : Grandes Ecoles, Ecoles Spéciales : Industrie, Armée, Agriculture, Commerce, Beaux-Arts, Administration, Lycées Techniques d'Etat, Enseignement. (Préciser l'Ecole).

O.R. 158 : Orthographe, Rédaction, Calcul, Dessin, Ecriture, **Conversation.**

L.V. 158 : Langues Etrangères : Anglais, Allemand, Espagnol, Italien, Russe, Chinois, Arabe, Espéranto - **Chambres de Commerce étrangères - Tourisme - Interprétariats.**

P.C. 158 : Cultura : Perfectionnement culturel. **Universa :** initiation aux études supérieures.

A.G. 158 : Agriculture : (France et Rép. afric.), B.E.A., B.T.A., Industries agricoles, Floriculture, Culture potagère, Arboriculture, Elevage, Génie rural, **Radiesthésie, Topographie.**

C.T. 158 : Industrie, Travaux Publics, Bâtiment : toutes spécialités, tous examens : Mécanique, Métallurgie, Mines, Chauffage, Froid, Matières plastiques, Chimie - Stages payés (F.P.A.).

L.E. 158 : Electronique, Electricité : C.A.P., B.P., B.T.S., Préparations libres.

D.I. 158 : Dessin industriel : C.A.P., B.P. - Mécanique, Automobile, Electricité, Bâtiment, etc.

M.V. 158 : Métré : C.A.P., B.P., : Aide-Métreur, Métreur-Vérificateur.

E.C. 158 : Comptabilité : C.A.P., B.P., B.S.E.C., B.T.S., D.E.C.S., Certif. de Révision Comptable, Expertise. **Préparations libres :** Caissier, Chef-Magasinier, Teneur de livres, Comptable, Chef comptable, Conseiller fiscal.

P.R. 158 : Programmation sur ordinateur électronique.

C.C. 158 : Commerce : C.A.P., B.P., B.S.E.C., B.T.S. - Employé de bureau, de banque, Sténodactylo, Représentant, Vendeur - Publicité, Assurances, Hôtellerie, **Mécanographie.**

C.S. 158 : Secrétariats : C.A.P., B.P., B.S.E.C., B.T.S. - Secrétaire de Direction, Bilingue, de Médecin, d'Avocat, d'Homme de Lettres, Secrétariats techniques, Correspondance - **Journalisme - Graphologie.**

R.P. 158 : Relations Publiques, Attaché de Presse.

C.F. 158 : Carrières Féminines : Ecoles : Assistantes Sociales, Infirmières, Jardinières d'enfants, Sages-Femmes, Puéricultrices - Visiteuses médicales, Hôtesses, Vendeuses, etc.

C.B. 158 : Coiffure (C.A.P. dame) - **Soins de Beauté.** C.A.P. d'Esthéticienne, Visagisme, Manucurie (Stages pratiques gratuits à Paris) - Ecoles de Kinésithérapie et de Pédicurie.

C.O. 158 : Couture, Mode : Coupe, Couture (Flou et Tailleur, Vêtements petite série) - **Enseignement ménager :** monitorat et professorat.

D.P. 158 : Arts du dessin : Illustration, Mode, Aquarelle, Peinture, Portrait, Caricature, Nu, Décoration, Antiquaire.

E.M. 158 : Etudes Musicales : Solfège, Guitare classique, électrique et tous instruments.

C.I. 158 : Cinéma : Technique Générale, Scénario, Décor, Prises de vues, de son, Projection, I.D.H.E.C., Cinéma 8 et 16 mm - **Photographie.**

M.M. 158 : Marine Marchande : Ecoles Nationales, Brevets et Diplômes - Yachting.

M.N. 158 : Marine Nationale : Ecole Navale, Service de Santé, Commissariat, Maistrance - Ecole des Apprentis, des Pupilles, Génie Maritime.

C.A. 158 : Aviation civile et militaire : Elèves Pilotes Radio, Mécaniciens, Télémécaniciens - Industries aéronautiques, Hôtesses de l'air.

R.T. 158 : Radio, Télévision : Monteur, Dépanneur - Brevets internationaux - **Transistors.**

F.P. 158 : Pour devenir Fonctionnaire : P.T.T., Finances, Travaux Publics, Banques, S.N.C.F., Police, Sécurité Sociale, E.N.A., Préfectures.

E.R. 158 : Tous les Emplois Réservés : Examens de 1re, de 2e et de 3e catégorie. Examens d'Aptitude Technique.

La liste ci-dessus ne comprend qu'une partie de nos enseignements. N'hésitez pas à nous écrire. Nous vous donnerons gratuitement tous les renseignements et conseils qu'il vous plaira de nous demander.

à découper

ENVOI GRATUIT N° 158

ÉCOLE UNIVERSELLE

59, Bd Exelmans - PARIS 16e

Initiales et N° de la brochure demandée .....

Profession choisie .....

Niveau d'études ..... Diplôme .....

NOM - PRÉNOM ..... Age .....

ADRESSE .....

Encres Clarset Brancher Frères

IMPRIMÉ EN FRANCE

IMP. BLANCHARD, PARIS - LE PLESSIS - ROBINSON

infra
INSTITUT FRANCE ÉLECTRONIQUE

24, rue Jean Mermoz, Paris 8e - Téléphone 225.74.65
(Informations et documentation SVI sur demande)

c'est

1er kit

Télévision Couleur étudié et adapté pour l'enseignement

L'INFRA-COLOR

Ce téléviseur est visible en fonctionnement au siège de l'Institut
TUBE TRICHROME DE 65 MM AUTO-PROTÉGÉ BLINDÉ.
MONTAGE : Un technicien averti monte le « INFRA-COLOR » en 25 heures, sans appareils de mesure spéciaux.

1er cours visuel

pour la connaissance et la pratique de la T.V. Couleur

DIAPO-TÉLÉ-TEST

Mieux qu'aucun livre, qu'aucun cours. Chaque volume de ce cours visuel comporte : texte technique, nombreuses figures et 6 diapositives mettant en évidence les phénomènes de l'écran en couleurs ; visionneuse pliante incorporée pour observation approfondie !

1ère école par Correspondance

mettant à la disposition de ses élèves un procédé breveté de contrôle pédagogique

SYSTEME "CONTROL- DIDACT"

qui favorise notamment :
1° — La qualité et le soin des corrections effectuées par des professeurs responsables.
2° — La rapidité du retour des devoirs corrigés.
3° — La tenue d'un véritable livret scolaire individuel et permanent des candidats travaillant par correspondance, document incontestable d'authenticité.

INFRA, UN CONTACT PÉDAGOGIQUE RESSERRÉ

INFRA, UN PROFESSEUR TOUJOURS PRÉSENT !

Studio Infra

SUR SIMPLE DEMANDE ÉCRITE, VOUS RECEVREZ :

- La documentation gratuite SV. IA sur le KIT. TV. couleur.
- Le DIAPO-TÉLÉ-TEST (1er Vol.) avec visionneuse incorporée contre chèque ou mandat-lettre de 12,70 F, port compris (25,40 F pour vol. 1 et vol. 2 réunis).
- La Documentation gratuite SV. IB sur les cours par correspondance Radio-TV-Électronique. (Autres Sections d'enseignement : dessin industriel, aviation, automobile).

Encres Clarset Brancher Frères — IMPRIME EN FRANCE — IMP. BLANCHARD, PARIS - LE PLESSIS - ROBINSON